



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA MATERIÁLU

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 3911R018 Materiály a technologie

Zaměření: Materiálové inženýrství

Mechanismus opotřebení Cr vrstvy ventilových dříků

The Mechanism of Wear of the Cr Layer in Valve Stems

KMT – B – 152

Martin Kysel

Vedoucí práce: doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Konzultant:

Počet stran: 74

Počet tabulek 6

Počet obrázků: 58

Počet grafů: 0

Počet příloh: 10

Datum: 28.05. 2010

ANOTACE
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra materiálů

Studijní program: 2341 B – Strojírenství
Bakalář: Martin Kysel
Téma práce: Mechanismus opotřebení Cr vrstvy ventilových dříků
The Mechanism of Wear of the Cr Layer in Valve Stems
Číslo BP: KMT – B – 152
Vedoucí práce: doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.
Konzultant:

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá mechanismem opotřebení Cr vrstvy ventilových dříků. Cílem této práce je stanovení hypotézy opotřebení ventilových dříků ve spojitosti s vodítky s různým stupněm degradace.

V teoretické části se jedná o principy tření, abrazivního a adhezivního opotřebení mezi dvěma třenými povrchy (vodítko ventilu a Cr vrstva ventilového dříku) a tvrdost tvrdochromové vrstvy.

V praktické části se hodnotí postupná degradace kluzného povrchu různých typů ventilů a vodítek.

Závěrem je zhodnocení dosažených výsledků, stanovení hypotézy a navržení postupu pro další řešení daného problému z hlediska opotřebení mezi třecí dvojicí.

Abstract:

This Bachelor degree project deals with the mechanism of chromium wear of the valve stems. The aim of the study is to formulate a hypothesis of valve stems wear in connection with valve guides with various degrees of degradation.

The theoretical part examines principles of wear, abrasive and adhesive wear resulting from frictions between two contact surfaces (valve guide and the Cr layer of the valve stem), and hardness of the hard chromium layer.

The practical part presents an evaluation of the progressive degradation of the sliding surfaces of various types of valves and valve guides.

The conclusion provides a summary of the reached findings, formulates a hypothesis, and suggests a course of action to be adopted in further solutions to the problem from the point of view of the friction pair.

KLÍČOVÁ SLOVA

abrazivní opotřebení

adhezivní opotřebení

dřík ventilu

koroze za tepla

mechanismus opotřebení

ocel

tření

tvrdochróm

vodítko

KEY WORDS

abrasive wear

adhesive wear

valve stem

high temperature corrosion

wear mechanism

steel

friction

hard chromium

valve guide

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 28. května 2010

Podpis:

Poděkování:

Tímto děkuji všem, kteří mě během psaní této práce podporovali. Vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Břetislavu Skrbkovi, CSc za cenné informace a čas, který mi věnoval při konzultacích a za poskytnuté materiály. Své rodině za nesmírnou trpělivost. Dále Ing. Vladimíru Noskovi za většinu materiálů k dané problematice. Velké díky patří RNDr. Věře Vodičkové, Ph.D. a Ing. Petře Prokopčákové za uvedení do problému a pomoc, bez které by tato práce nevznikla. Podmětné nápady od doc. Ing. Karla Daďourka, CSc. pro mě byly také velkým přínosem.

Na závěr bych chtěl poděkovat členům Katedry materiálu za ochotu a zejména doktorandům za své přínosné názory.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	7
ÚVOD	8
1. TEORETICKÁ ČÁST.....	9
1.1 Vliv tření.....	9
1.2 Vliv opotřebení	12
1.3 Vliv abrazivního opotřebení	14
1.4 Vliv adhezivního opotřebení	19
1.5 Snížení vlivu tření a opotřebení RVS technologií.....	23
1.6 Využití technologie SLICK 50	25
1.7 Dřík ventilu.....	25
1.8 Vodítko ventilu.....	28
2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	29
2.1 Značení zkoumaných ventilů a vodítek.....	30
2.2 Vývoj vodítek	31
2.3 Fotodokumentace dříků ventilů a vodítek	33
2.4 Základní rozměry ventilů a vodítek.....	38
2.5 Zjištění postupné degradace kluzného povrchu pomocí REM.....	40
2.6 Drsnost povrchu	50
2.7 Tvrdost dříků a vodítek podle Vickerse	51
2.8 Stanovení hypotézy opotřebení	53
ZÁVĚR.....	57
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	59
SEZNAM PŘÍLOH.....	61

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Symbol	Jednotka	Význam
F_h	N	hnací síla
F_T	N	síla třecí vazby
F_N	N	zátěžná normální síla
μ	-	součinitel kluzného tření
M_T	N.m	třecí moment
M	N.m	hnací moment
ε	m	rameno valivého odporu
R	m	poloměr
v	m.s ⁻¹	třecí rychlost
η	Pa.s	dynamická viskozita
p	Pa	tlak
H_ξ	N	zatížení částice
p_m	Pa	vníkací tvrdost
r	m	poloměr vtisku na úrovni původního povrchu
h	m	hloubka vtisku
α	°	úhel kužele
K_{abr}	-	součinitel abrazivního opotř.
V_o	m ³	objemový otěr
x	m	vzdálenost, kterou urazí kužel α
α'	°	průměrná hodnota všech kuželů
ψ	-	poměrná odolnost proti opotrebení
K_1	-	konstanta pro vnější podmínky
H_a	N.m ⁻²	tvrdost abraziva
H_k	N.m ⁻²	tvrdost materiálu funkční části
F	N	zatížení
S	m ²	plocha vtisku
HV	N.m ⁻²	tvrdost podle Vickerse
K_{adh}	-	součinitel adhezivního opotř.
L	m	kluzná dráha
H	N.m ⁻²	tvrdost
E	MPa	modul pružnosti
t	°C	teplota
HRC	N.m ⁻²	tvrdost podle Rockwella
f	-	koeficient tření
R_m	Mpa	mez pevnosti v tahu

Značka	Jednotka	Význam
REM	-	řádkovací elektronový mikroskop
PTFE	-	polytetrafluoretylen
SE	-	sekundární elektrony
BSE	-	zpětně odražené elektrony

ÚVOD

Žijeme v 21. století plných změn, trendů a inovací. Automobil se stal nezbytnou součástí každodenní potřeby dnešního zrychleného života. „Srdcem“ automobilu je motor, který prochází neustálým vývojem a modernizací. Zvýšením výkonnosti motoru se zvyšuje tlak na dané součásti a zároveň rychlost pohybu jednotlivých součástí, které mají za důsledek vyšší tření a rychlejší opotřebování.

Tření je známo od nepaměti jako jeden z nejstarších jevů. Již v době kamenné, když chtěl člověk rozdělát oheň, „třel“ o sebe dva kameny, a tím vznikla jiskra. Při této primitivní činnosti použil zákony tření. Čím déle křesal, tím bylo větší opotřebování.

Tření a s ním spojené opotřebování materiálu se stal nezvratným problémem, který je třeba řešit, abychom posunuli hranice životnosti materiálu. K tomu se využívají nejrozumnější maziva všech typů a vhodná volba materiálu třecího i třeného. Tato práce se zabývá opotřebováním ventilových dříků ve spojitosti s aplikovanými vodítky. Ventil je důležitá část motoru, která je nezbytná pro jeho správný chod. Mezi vodítkem a dříkem ventilu vzniká při správné funkci kapalině kluzné tření. Přídavné adhezní, abrazní a korozní opotřebování zvláště za vyšších teplot omezuje jejich životnost. Neméně podstatná je i volba materiálu jak dříku, tak vodítek ventilu. Vhodný materiál, povrchová drsnost a tvar dříku je značně důležitý a s ním je spojená životnost ventilu.

V praktické části je proveden rozbor povrchu a metalografie tvrdochromové vrstvy ventilů s různým stupněm degradace v souvislosti s aplikovanými vodítky a provozem a je nastíněna hypotéza opotřebování. Vývoj materiálu vedení pro zlepšení kluzné dvojice spěje od perlitických přes izotermicky kalené po fosfornaté litiny s lupínkovým grafitem. Pro teplotně nejzatíženější „STECHIO“ motory se vyvíjí vedení z neželezných slitin.

1. TEORETICKÁ ČÁST

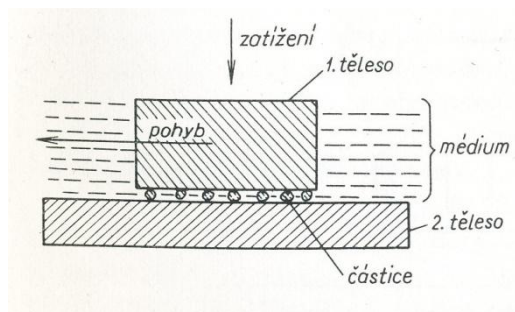
1.1 Vliv tření

Od doby Leonarda da Vinci se definice tření nezměnila. Prameny uvádějí, že **tření je odpor proti pohybu, které vzniká mezi dvěma tělesy v oblasti dotyku jejich povrchů, v tečném směru k nim** [2]. Definuje se jako ztráta mechanické energie jak v průběhu, na počátku nebo na konci relativního pohybu materiálů, které se stýkají v daných oblastech. Zahrnuje tření klidové, pohybové nebo rázové [3].

Hodnocení tření může být podle situace globální nebo detailní a jeho představa může mít následující dva modely:

- 1) **Makromodel** tření je komplexní projev. Všechny účinky elementárních jevů se hodnotí staticky bez objasňování mechanismů, které právě probíhají. Globální stav se vztahuje k časovým okamžikům.
- 2) **Mikromodel** vytváří elementární obraz tření procesu. Charakterizuje se fyzikálně-chemickými nebo fyzikálními metodami [3].

Tření a opotřebení materiálu je zobrazeno na obr. 1.1.



Obr. 1.1: Tření a opotřebení těles [2]

Abychom rozlišili tření, tak je důležitý relativní pohyb funkčních povrchů [2]. Projevuje se dvěma klasickými účinky:

- 1) **Pomocí třecích sil** (obr. 1.2)
 - dvě tuhá tělesa, která se dotýkají, jsou v relativním pohybu a v místě jejich styku působí odpor, který se značí jako síla vnějšího tření, stručněji tření. Rovnice (1.1) popisuje tvz. **zákon tření**: *velikost síly tření je přímo úměrná působícímu zatížení* [2].

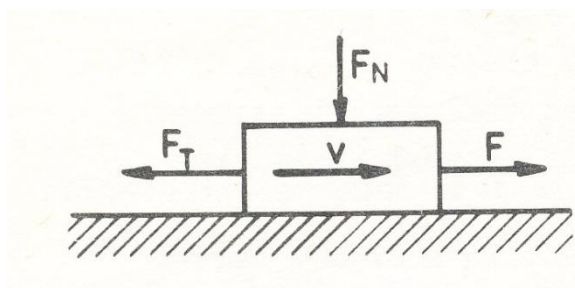
$$F_T = \mu \cdot F_N, \text{ při stacionárním stavu } F_h = F_T \quad (1.1)$$

Kde: F_h [N] – hnací síla, F_T [N] – síla třecí vazby, F_N [N] – zátěžná normální síla, μ [1] – součinitel kluzkého tření.

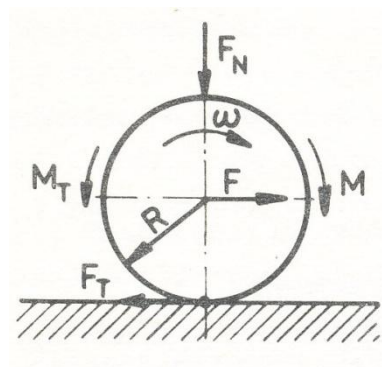
2) Pomocí třecích momentů (obr. 1.3)

$$M_T = \varepsilon \cdot F_N = F_h \cdot R, \text{ při stacionárním stavu } M_T = M \quad (1.2)$$

Kde: M_T [N.m] – třecí moment, M [N.m] – hnací moment, ε [m] – rameno valivého odporu, R [m] – poloměr [3].



Obr. 1.2: Síla třecí vazby [3]



Obr. 1.3: Třecí moment [3]

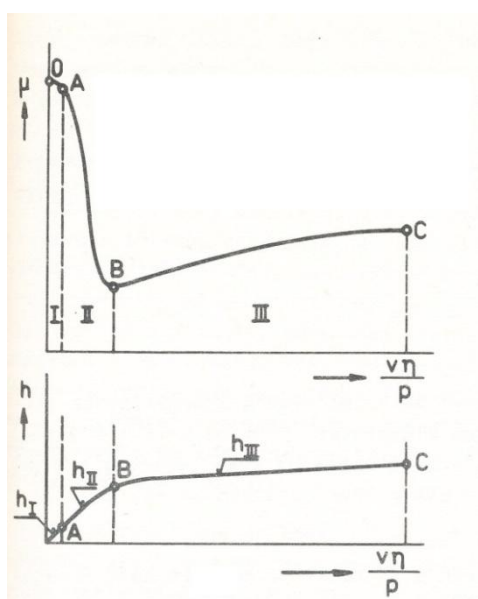
Pro tření mezi ventilovým dříkem a vodítkem se uvažuje tření pomocí třecích sil. Tření pomocí třecích momentů nevzniká.

Stribeckova křivka

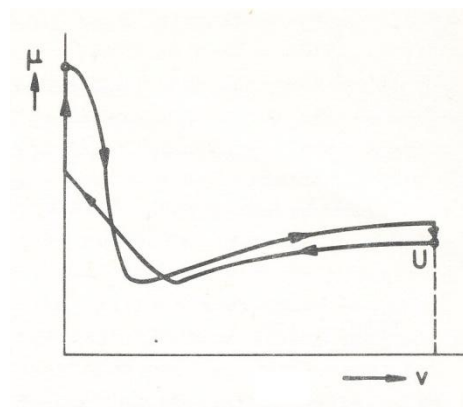
Již bylo zmíněno, že tření se projevuje ztrátou mechanické energie a váže se na relativní pohyb. Pohyb je rozdělen do tří částí a to: **na počátek, průběh a konec tření**. V průběhu makropohybu se brzdící účinek tření projevuje, na počátku a na konci dochází k přilnutí povrchů. Dochází k rozdílným účinkům mezi třením za klidu nebo za pohybu. Při přechodu z klidu do pohybu se v makromodelu projeví skoková změna součinitele tření. V mikromodelu je naopak spojitý nárůst součinitele tření na malé dráze. Jeho velikost je v μm . V povrchových vrstvách vzniká elastická a plastická mikrodeformace [3].

Rozdíl vzniká u povrchů s kapalným mazáním a to při rozběhu, provozním stavu a doběhu. Kde vrstva maziva odděluje třecí povrchy. Na obr. 1.4 je znázorněna **Stribeckova křivka** závislosti $\mu = \mu((\eta \cdot v)/p)$ a průběh tloušťky olejové mazací vrstvy. Pro velmi malé rychlosti je mazání nedostačující a tento proces tření se blíží

tření bez mazání – tzv. **suché tření** [3]. Toto tření je v praxi nevyhovující. Na povrchu těles jsou absorbované vrstvy plynů, vlhkosti apod., u kovů též oxidické vrstvy, které ovlivňují třecí vlastnosti funkčních povrchů [2]. U **mezného tření** jsou třecí místa oddělena vrstvou maziva, která je velmi pevná. Tloušťka je několik molekul [3]. Představuje tzv. limitní případ kapalinného tření. Vlastnosti tenké vrstvy se liší od objemových vlastností. **Kapalinné tření** vzniká tehdy, jsou-li povrchy tření odděleny vrstvou maziva popř. jiného kapalného média [2]. **Tření smíšené** představuje různé složení suchého, mezného a kapalinného tření [3]. Dochází k občasným dotykům povrchových mikronerovností dotýkajících se těles [2].



Obr. 1.4: Stribeckova křivka [3]



Obr. 1.5: Stribeckova křivka [3]

Kde: v [m.s^{-1}] – třecí rychlost, μ [-] – součinitel tření, η [Pa.s] – dynamická viskozita, p [Pa] – tlak.

Schéma popisuje 3 oblasti (obr. 1.4). V oblasti I dochází k suchému tření, koeficient tření je větší než 0,1. V oblasti II se vyskytuje mezné tření, kde koeficient tření je mezi 0,1 až 0,005. III. oblast představuje kapalinné tření s koeficientem tření menším než 0,005. Tloušťka mazací vrstvy pro každou oblast je označena jako h_I , h_{II} a h_{III} . Na obr. 1.5 je závislost $\mu = \mu(v)$. Zobrazeny jsou 3 stavy - při rozběhu a při ustáleném stavu U a při doběhu. Z obr. 1.5 je zřejmé, že třecí rychlost při rozběhu stoupá a při doběhu klesá. Při zastavování a při náběhu dochází k rozdílu křivek, který je dán viskozitou mazacího oleje a teploty při provozu.

Zvyšování životnosti součástí

Kluzné dvojice se více či méně opotřebovávají. Jejich intenzitu lze ovlivnit **vhodnou volbou maziva nebo přísad, které zlepšují vlastnosti maziv při vysokých teplotách nebo tlacích**. Také by se mělo věnovat pozornosti geometrickému tvaru pohybujících se součástí, povrchové drsnosti, kvalitě obrobení a nečistotám, které se tam mohou dostat [2]. Aby nedocházelo k poškození funkčních povrchů, tak by měl konstruktér věnovat dostatečnou pozornost ochraně před vnikáním nežádoucích nečistot. První poškození právě dochází **k vniknutí cizí tvrdé částice** [2].

Aby se zvýšila životnost jak dřívku, tak uložení vodítek, tak je důležitá volba materiálu. Musí odolávat vysokým teplotám a být dostatečně odolný vůči tření a opotřebením. Požadovaná tvrdost se docílí chemickými úpravami např. **cementací, nitridací nebo sulfonitridací**. Vhodné se zdá být také elektrogalvanické nanášení vrstev tzv. **chromování**. Při výběru materiálu je také důležitá cena, dostupnost nebo změna technologie výroby.

Z dalších bodů pro zvýšení životnosti je, aby **intenzita opotřebením byla po celém povrchu součástí rovnoměrná**. Z toho vyplývá, že kvalita materiálu funkční plochy by měla být rovnoměrná a nebyť zdrojem místního opotřebením [2].

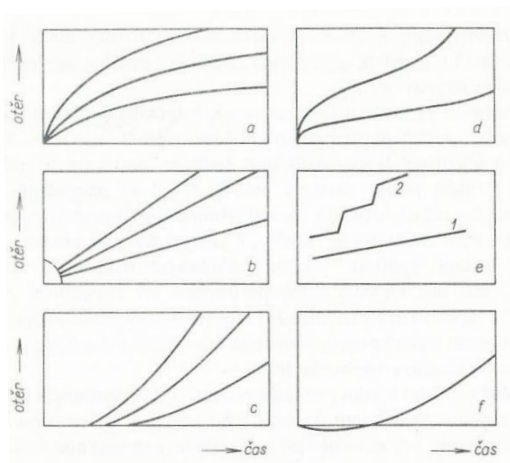
1.2 Vliv opotřebením

Opotřebením je nežádoucí změna povrchu nebo rozměrů tuhých těles, která je způsobená vzájemným působením třecím a třením dvojice, nebo funkčního povrchu a média, které opotřebením vyvolává. Projevuje se jako **přemísťování nebo odstraňování částic hmoty** z funkčního povrchu mechanickými účinky, popřípadě i jinými vlivy (např. elektrickými, elektrochemickými nebo chemickými) [2].

K prvnímu styku dochází, přiblíží-li se k sobě dvě reálná tělesa. Tím je dostatečně vymezena jejich vzájemná poloha. To se děje teoreticky ve třech bodech. Tyto body představují nejvyšší výčnělky povrchů. Na dalších místech styku obrysové plochy jsou součástí vyplněny nebo odděleny okolním médiem. Tlak je dostatečně velký, aby došlo k plastické i pružné deformaci výčnělků. Dále do kontaktu přicházejí další a další místa povrchu, dokud nevznikne dostatečně velká plocha styku, která dané zatížení unese [2].

Opotřebení a jeho časový průběh

Opotřebení je **složitý proces**, který je ovlivňovaný různými působícími faktory. Je třeba přistupovat k dané problematice jako k náhodným jevům. To se hodnotí pomocí metod matematické statistiky [2]. Opotřebení narůstá s časem při stálém zatížení a neměnicích se podmínkách [4]. V praxi existuje základních 6 modelů časového průběhu opotřebení, které je uvedeno na obr. 1.6. Na obr. 1.6a dochází k záběhu. Během této doby se odstraňují mikronerovnosti nebo se přizpůsobují drsnosti povrchu součásti. Tuto fázi se snažíme dostupnými prostředky zkracovat. V obr. 1.6b nastává tzv. ustálený děj, úbytky jsou zde jako lineární funkce času. Dochází k abrazivnímu opotřebení, jsou-li zajištěny konstantní podmínky na funkční ploše. Snaha je dosáhnout, aby opotřebení bylo s minimálními úbytky. To se odrazí na životnosti strojní součásti. Na obr. 1.6c je znázorněn progresivní růst opotřebení. To je zapříčiněno mechanismem únavového porušování (kavitační a únavové opotřebení). Dále kombinace záběhu, ustáleného průběhu a progresivního růstu na obr. 1.6d. Na obr. 1.6e jsou znázorněny 2 křivky. Na křivce 1 dochází k ustálenému průběhu opotřebení. To je typické pro kluzné dvojice, kde rychlost ochranných oxidických vrstev je na povrchu větší než rychlost při vzájemném pohybu vlivem porušování. Křivka 2 ukazuje neustálený průběh. Je typická pro intenzivní adhezivní opotřebení. Křivka na obr. 1.6f představuje počáteční fázi opotřebení částicemi. Tvrdé částice nebo nečistoty se mohou zamáčknot do měkkého povrchu. To se děje např. u kluzných dvojic.



Obr. 1.6: Časový průběh opotřebení [2]

V povrchových vrstvách při namáhání vlivem opotřebení může vést k následujícím změnám:

- Zatlačování tvrdých částic vlivem mikroplastické deformace do měkčího povrchu.
- Vznik oxidů za účasti mikroplastické deformace a následné zvýšení teploty, která vzniká v místě dotyku.
- Povrchové vrstvy jsou při opakovaném namáhání poškozeny. Jedná se o únavové poškození.
- Změna mikrostruktury, to se děje například v důsledku fázové přeměny.
- Povrchové vrstvy se aktivují [3].

K výraznému opotřebení mezi dříkem ventilu a vodítky může také dojít z následujících důvodů (projevuje se především hlučností):

- Příliš malá nebo příliš velká vůle mezi vedením ventilu a dříkem.
- Mazání není dostatečné.
- Špatné těsnění (proniknutí nečistoty).
- Přívod velkého množství oleje z důvodu velké vůle a následné zadírání (karbonizace).
- Nesprávná montáž, nesouosost [9].

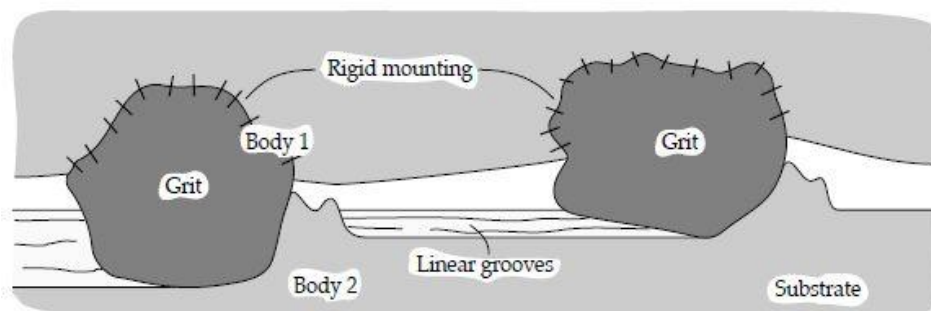
Podle ČSN 01 5050 rozlišujeme 6 základních druhů opotřebení a to: **abrazivní, adhezivní, kavitační, únavové, erozivní a vibrační**. V praxi se ale tyto druhy opotřebení kombinují a tím vznikají různé varianty. [2] Opotřebení, které vzniká na povrchu ventilového dříku, je především **adhezivní a abrazivní**.

1.3 Vliv abrazivního opotřebení

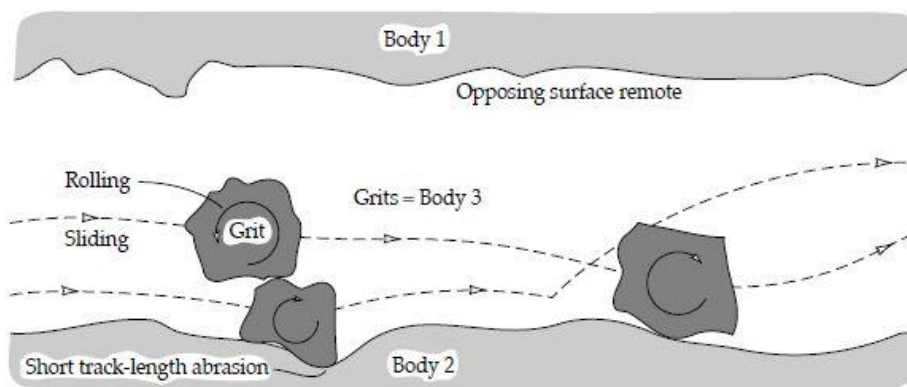
Abrazivní opotřebení je charakteristické oddělováním částic z funkčního povrchu účinkem tvrdého a drsného povrchu druhého tělesa [3], nebo účinkem abrazivních částic. Klasickým poškozením povrchu jsou rýhy. **Rozlišujeme dva případy**. V prvním případě tvrdé částice opotřebovávají jeden funkční povrch – tzv. interakce dvou těles, částic a součástí (obr. 1.7) [2]. Částice jsou pevně připevněny na jeden z povrchů.

Druhý případ je opotřebení částicemi, které jsou mezi dvěma povrchy. Jedná se o interakci 3 těles. Prakticky k tomu dochází u všech pohybových mechanismů, do nichž mohou vniknout částice nebo nečistoty z okolního prostředí (obr. 1.8) [2].

Samovolně se odvalují a tím dochází k poškození povrchů. Částice jsou obvykle v mazivu. Abrazivní opotřebení ventilového díku je zapříčiněno zplodinami spalovacího procesu motoru.

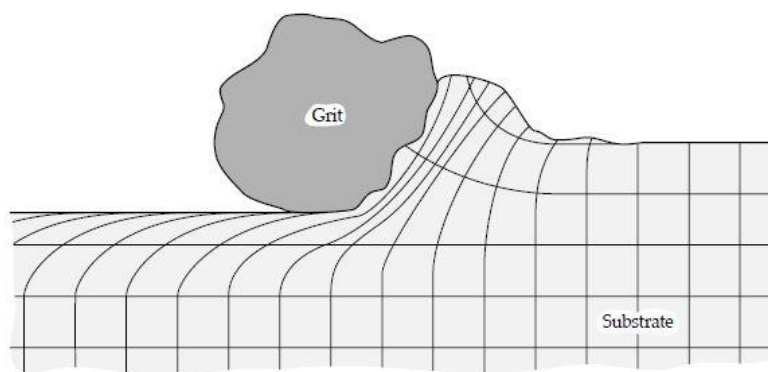


Obr. 1.7: Interakce 2 těles [5]



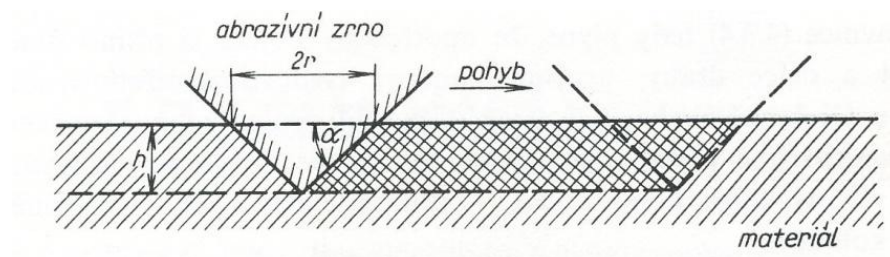
Obr. 1.8: Interakce 3 těles [5]

Na obr. 1.9 je zobrazen povrch ovlivněný plastickou deformací. Částice představující abrazivní zrno vniká do materiálu, pohybuje se zleva doprava a vytváří tak rýhu. **Snížení této deformace je vhodná volba materiálu, který je povrchově upraven** (kalení, galvanické pochromování atd.).



Obr. 1.9: Podpovrchová deformace při pohybu částice [5]

Zjednodušený případ, kdy nerovnost jednoho tuhého tělesa ve tvaru kužele rýhuje povrch tělesa druhého (obr. 1.10) [2].



Obr. 1.10: Rýhování povrchu materiálu abrazivním zrnem [2]

Aby kužel vnikl do hloubky h , je potřeba působit silou F , která je dána vztahem

$$H_{\check{c}} = p_m \cdot \pi \cdot r^2, \quad (1.3)$$

kde: $H_{\check{c}}$ [N] – zatížení částice, p_m [Pa] – vnikací tvrdost, r [m] – poloměr vtisku na úrovni původního povrchu.

Posune-li se kužel o vzdálenost dx ve směru relativního pohybu, odstraní se přitom objem dV

$$dV = r \cdot h \cdot dx = r^2 \cdot \tan \alpha \cdot dx = \frac{H_{\check{c}} \cdot \tan \alpha \cdot dx}{\pi p_m}, \quad (1.4)$$

$$h = r \cdot \tan \alpha, \quad (1.5)$$

kde: h [m] – hloubka vtisku, α [°] – úhel kužele (obr. 1.10).

U reálného tělesa uvažujeme všechny nerovnosti, potom celý odstraněný objem bude

$$V_o = \frac{H_{\check{c}} \cdot \tan \alpha' \cdot x}{\pi \cdot p_m}. \quad (1.6)$$

$\tan \alpha'$ je průměrná hodnota $\tan \alpha$ všech kuželů, které se podílejí na rýhování povrchu.

Pro praktickou část zjednodušíme:

$$V_o = K_{abr} \cdot \frac{H_{\check{c}} \cdot x}{\pi \cdot p_m}, \quad (1.7)$$

kde: K_{abr} [-] – součinitel abrazivního opotřebení, V_o [m³] – objemový otěr, x [m] – vzdálenost, kterou urazí kužel.

V praxi je obtížné určit hodnoty $\tan \alpha'$, protože se vyskytují povrchové nerovnosti a částice se odchyľují od předpokládaného kuželového tvaru. Proto se zavádí koeficient

K_{abr} . Je to hodnota úměrná $\text{tg}\alpha'$ pro daný případ, kde K_{abr} se pohybuje od $2 \cdot 10^{-1}$ až $2 \cdot 10^{-2}$. Jestliže se jedná o abrazivní částice, hodnoty jsou v mezích od 10^{-2} až $2 \cdot 10^{-3}$.

Kde: $\alpha' [^\circ]$ – průměrná hodnota všech kuželů [2].

Tvrdost abraziva a jeho vliv na opotřebení

Jedná se o jev velice složitý, a to i při působení dvou nebo tří materiálů, které mají známé vlastnosti. Aby se celá problematika usnadnila, zavedl se pojem **poměrné odolnosti proti opotřebení**.

$$\psi = V_{O \text{ etalonu}} / V_{O \text{ vzorku}}, \quad (1.8)$$

kde: $\psi [-]$ – poměrná odolnost proti opotřebení [2].

Hodnota $1/\psi$ se definuje jako poměrné opotřebení vzorku vzhledem k etalonu [2].

Objemový otěr je také závislý na tvrdosti materiálu povrchu funkční části H_k a tvrdosti abraziva H_a . Výsledný vztah bude

$$V_o = K_1 \cdot \log \frac{H_a}{H_k}, \quad (1.9)$$

kde: $K_1 [-]$ – konstanta pro dané vnější podmínky, $H_a [-]$ – tvrdost abraziva, $H_k [-]$ – tvrdost materiálu funkční části [6].

Jestliže se porovnává odolnost materiálu proti opotřebení, musí se v laboratorních podmínkách pracovat v oblasti, kde hodnota poměrné odolnosti proti opotřebení ψ není závislá na velikosti poměru H_a/H_k . Tvrdost abraziva musí být větší než tvrdost zkoušeného materiálu [2].

Velmi nízkou odolnost proti opotřebení vykazují feritické oceli s nízkým obsahem perlitu. **S vyšším obsahem perlitu se odolnost proti opotřebení výrazně zvyšuje**. Aby byla odolnost proti abrazi vysoká, lze tyto oceli legovat nebo tepelně zpracovat. Vhodná je také povrchová úprava. **Osvědčilo se legování ocelí karbidotvornými prvky výhradně chromem, vanadem nebo wolframem spolu s kalením, nitridací nebo cementací. Velmi dobře odolávají proti abrazivnímu opotřebení oceli s martenzitickou strukturou a s vysokým podílem karbidické fáze.** Mezi nejodolnější ocele se řadí manganové austenitické ocele (Hadfieldova ocel, složení: 1,2 až 1,3%C a 13% Mn) [6].

Opotřebení abrazivních částic

Přenos vnějších sil se uskutečňuje teprve pomocí největších částic nebo nejvíce vyčnívajících částic abrazivního povrchu. **Tato zrna způsobují největší poškození a to formou důlků nebo rýh.** Počet rýh je přímo úměrný zatížení a nepřímo úměrný velikosti abrazivních částic. To platí, pokud nedojde k většímu poškození abrazivních částic nebo k jejich drcení [2]. Pomocí Brinellový zkoušky tvrdosti můžeme zjistit tvrdost těchto částic. Předpoklad jsou kulové částice.

Kritická velikost, tvar a pevnost abrazivních částic

Kritická velikost zrna je ovlivněna zkušebními podmínkami tj. použitými částicemi, rozměrem vzorku i vlastnostmi opotřeбенého materiálu [2]. Prakticky nejvíce jsou namáhána velká zrna. Velikost trhlinek se projevuje nejdříve. Kritická velikost zrna je vyvolána poklesem abrazivního účinku. Částice, které jsou odděleny z povrchu, do jisté míry zaplňují mezery mezi brusnými zrny. V praxi má kritická velikost abrazivních částic velký význam. Při zmenšování velikosti abrazivních částic pod kritickou hodnotu klesá výrazně abrazivní účinek [2]. Částice vnikají do maziva. Proto je důležité kvalitní těsnění součástí, které vyřeší tento problém.

Z hlediska abrazivních účinků charakterizujeme počet hran či výstupků (makrogeometrie), hladkost povrchu výstupků či hran (mikrogeometrie) a poloměrem výstupků. V makrogeometrii tvar abrazivního zrna lze definovat podle **součinitele hranatosti** (poměr povrchu skutečného zrna k povrchu koule, která zaujímá stejný objem) [2].

Částice, které se pohybují vůči funkčnímu povrchu, zapříčiňují vylamování či otupování výstupků a hran abrazivních zrn. Zkoušky ukazují, že při minimálním silovém působení se příliš **nemění velikost zrn, ale mění se jejich mikrogeometrie** [2].

Vhodný materiál proti abrazivnímu opotřebení

Austenitické oceli jsou vhodné pro podmínky intenzivního opotřebení za velkých tlaků a rázů. Použití těchto ocelí se všude tam, kde se vyžaduje vysoká vrubová houževnatost v podmínkách dynamického zatížení [2], tudíž lze tuto ocel uplatnit pro výrobu ventilu, který je dynamicky namáhán.

Také vysokou odolnost proti abrazivnímu opotřebení vykazují některé typy bílých litin, avšak musí být nižší úroveň dynamického namáhání [2].

1.4 Vliv adhezivního opotřebení

Jedná se o typ opotřebení, při kterém vlivem relativního pohybu funkčních povrchů dochází k jejich dotyku a tím k porušení povrchových vrstev a vzniku mikrosvarů. To má za následek porušování těchto mikrospojů. Dochází k přenosu materiálu z jednoho povrchu na ten druhý. Tento děj je doprovázen uvolňováním a vytrháváním částic materiálu. Je ovlivňován mazivem mezi funkčními povrchy. S přítomností média se zhoršují podmínky pro vznik mikrosvarů. Vliv adhezivního opotřebení je charakteristické přenosem materiálu z jedné součásti na druhou a naopak. Jeho intenzivní forma je nazývána **zadírání** [4].

Faktory, které ovlivňují vznik adhezivního opotřebení:

- rychlost a zatížení relativního pohybu;
- schopnost materiálu při vytváření adhezivních spojů;
- poloměr zakřivení mikronerovností a hloubka vniku [2].

Intenzita adhezivního opotřebení se může výrazně ovlivnit vhodným médiem mezi funkčními povrchy. Toto mazivo může částečně oddělit stykové plochy a zmenšit působení povrchových mikronerovností. Opačný případ je vakuum, zde jsou podmínky pro vznik adhezivních mikrospojů velmi usnadněny, protože nevznikají potřebné ochranné oxidické vrstvy [2].

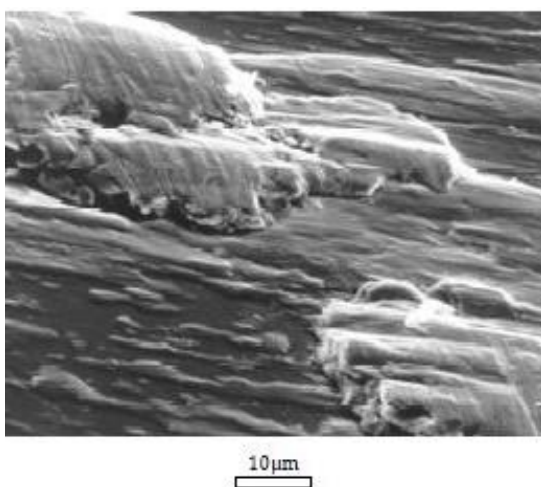
Mechanismus adhezivního opotřebení

Ke styku povrchů mezi dvěma součástmi dochází na velkém množství dotkových plošek. Jejich vytváření je **doprovázeno plastickou i elastickou deformací vrcholků konkrétních nerovností** [2]. V první fázi vzniká elastická deformace při dotyku vrcholků nerovností. Jestliže tlakové napětí dosáhne meze kluzu v tlaku v dotkové oblasti, dochází k plastické deformaci vrstvy materiálu s nižšími mechanickými vlastnostmi. V oblasti dotyku, vlivem plastické deformace, se mohou porušit povrchové vrstvy. Vlivem adhezivních sil se tvoří na odkrytých dotkových ploškách **mikrospoje** [2].

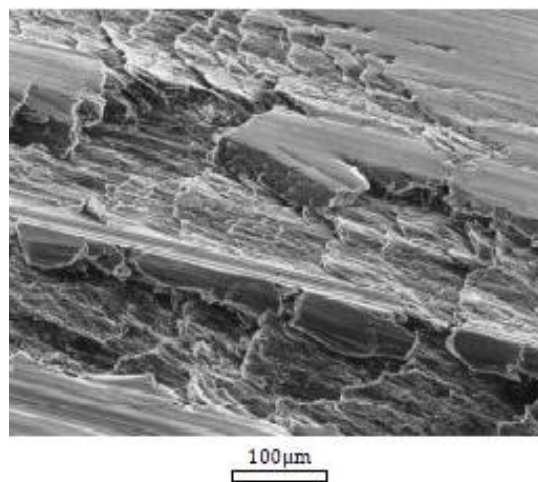
Vytrhávání a tvorbu částic způsobují adhezivní síly. V praxi existují 3 způsoby:

- volné částice vstupují mezi funkční povrchy;
- částice přilnou na povrchu druhého tělesa;
- částice se přilnou zpátky k původnímu povrchu [3].

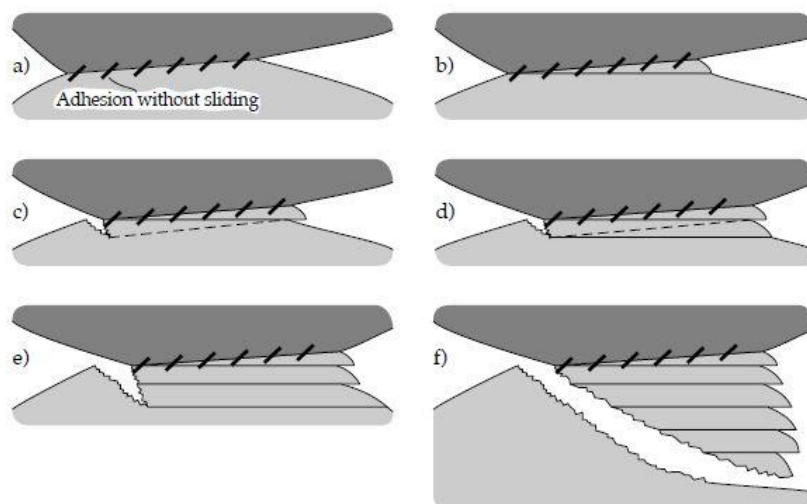
Vliv na porušení mikrospojů má **prudké zvýšení lokální teploty**. Tím se **zvětší difúze** a může tak dojít k vytvoření pevného spojení mezi utrhnutou částicí a povrchem druhého materiálu (obr. 1.11 a obr. 1.12). Předpoklad pro přenos materiálu je porušení povrchových vrstev vlivem chemické nebo oxidické reakce. V průběhu opotřebení roste celkové množství přeneseného materiálu. Jakmile dosáhne mezní hodnoty, už se nemění [3]. Na obr. 1.13 je zobrazen průběh adhezivního opotřebení. Nejprve dochází k přilnutí materiálu. Dále následuje přenos materiálu. Jakmile přenesený materiál dosáhne určité limitní hodnoty, následuje další přenesení materiálu. Celý proces pokračuje tak dlouho, až se celý přenesený materiál „vytrhne“ a nepřilne na povrch druhého tělesa.



Obr. 1.11: Pevné spojení mezi utrhnutou částicí a povrchem druhého materiálu [5]



Obr. 1.12: Vytržení částic z materiálu [5]



Obr. 1.13: Vznik adheze [5]

Objemový otěr se vypočítá podle vztahu:

$$V_o = K_{adh} \cdot F \cdot L \quad (1.10)$$

kde: K_{adh} [-] – součinitel adhezivního opotřebení, L [m] – kluzná dráha [2].

Vliv zatížení

Opotřebení roste skokem, jestliže je **překročeno určité „kritické“ zatížení**. Tím roste i drsnost ploch styku a charakter částic otěru. Při mírném opotřebení se tvoří malé oxidické částice, kdežto při intenzivním opotřebení se tyto částice zvětšují [2].

Vliv teploty a maziva

Teploty, kterých se dosahuje v povrchových vrstvách, se můžou blížit k bodu tavení nížetajícího kovu. To je zapříčiněno přeměnou energie při tvorbě mikrospojů a plastickou deformací povrchových vrstev. Tím **dochází snadno k chemickým reakcím** mezi okolním prostředím a materiálem povrchových vrstev. Tyto reakce mohou velmi ovlivnit průběh adhezivního opotřebení. Např. povlak $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ je u ocelí příznivý a působí jako ochranná vrstva a mazivo. Chemické reakce mohou také zvětšovat opotřebení. Tvrdé oxidy kovů představují abrazivní částice [2].

Vlivem vysokých teplot **se mění mechanické vlastnosti povrchových vrstev třecích materiálů**. Mění se tvrdost H a modul pružnosti E . Tím se ovlivňuje velikost skutečné dotykové plochy a odolnost materiálů proti opotřebení. Vysoké teploty mohou zapříčinit rozklad vrstvy maziva. Mazací schopnost je pak ztracena. Důležitá

je i **vysoká kluzná rychlost, velikost stykových povrchů, tepelná vodivost třecí dvojice a teplota okolního prostředí**. Vysoká kluzná rychlost způsobuje povrchové natavování. Vysoké teploty umožňují a usnadňují difúzi. Rychlý ohřev a následné ochlazení z vysoké teploty vyvolá u ocelí vznik martenzitu, nitridaci vzdušným dusíkem nebo při reakci maziva s povrchem kovu ke tvorbě fáze bohaté karbidem železa. Při vysoké dotykové teplotě roste reaktivita částic a povrchů otěru s mazivem nebo s okolní atmosférou [2].

Také vlivem vysoké teploty klesá viskozita maziva. Tím se zmenšuje mazací vrstva a narůstá počet dotykových ploch. Roste teplota maziva a třecí odpor. Souvislost mazací vrstvy je porušena a dochází k tvorbě částic otěru [2].

Vhodná kombinace materiálů

Pro výběr kluzné dvojice vhodných materiálů byly zjištěny některé poznatky. Odolnost funkční dvojice proti opotřebení **závisí na vzájemné rozpustnosti v tuhém stavu**. Malé opotřebení se dosáhne u kovů navzájem nerozpustných, nedochází k tvorbě pevných mikrosvarů (svařitelnost) nebo u dvojice, kde jeden kov se nachází podle periodické soustavy prvku ve skupině B (krystalové vazby mají některé rysy kovalentních vazeb) [2]. Dalším důležitým bodem je **krystalová struktura**. Opotřebení materiálu s hexagonální mřížkou je 100x menší než s kubickou plošně centrovanou krystalovou mřížkou. Další vliv, který ovlivňuje adhezivní opotřebení, je **mez kluzu v tlaku a tvrdost**. Vyšší tvrdost zapříčiňuje menší opotřebení. Jestliže dochází současně ke změně chemického složení a mikrostruktury, tak je vliv samotné tvrdosti mnohem menší. Mikrostruktura v procesu opotřebení je velmi komplikovaný problém, protože dochází ke strukturním změnám (rychlý ohřev na vysoké teploty a rychlé ochlazování). Martenzit, který vzniká v povrchových vrstvách ocelí, zvětšuje rozsah porušování funkčních povrchů při velkých zatíženích. Naopak při malých zatíženích působí příznivě. **Ocel, která má martenzitickou strukturu se méně opotřebovává než ocel s perlitickou strukturou**. Pro perlitickou strukturu je příznivější lamelární perlit než globulární [2].

Lze volit ze dvou variant pro výběr vhodných kluzných dvojic a to:

1. Použití dvou tvrdých materiálů.

2. Použití materiálů, které mají nízkou vazebnou energii; např. využití dvojice kovu a nekovu, případně kov – kov (vazebná energie se snižuje vhodným mazivem) [2].

1.5 Snížení vlivu tření a opotřebení RVS technologií

Dlouhodobý, ekonomický a bezporuchový provoz se vyžaduje od všech strojů a zařízení. Vlivem opotřebení dochází k postupnému povrchovému poškození součástí. V praxi se mu ale věnuje menší pozornost než u procesů náhlého poškození a porušení. **Cílem této progresivní technologie RVS je snížit vliv opotřebení funkčních dvojic na minimum** [10]. Lze ji použít všude tam, kde je mechanické opotřebení, ne však poškození [11].

Princip metody RVS

RVS technologie je založena na atomové výměnné reakci mezi základním materiálem a komponentami prostředků RVS. Vše je způsobené teplem, tím vzniká třecí a kinetická energie. **Vzniká tzv. ferosiliciová (kovokeramická) povrchová struktura na povrchu součástí** [10]. Tato FeSi kovokeramika má mřížku větší než původní povrch. Tím se nadzdvihnou krystaly nad opotřebovaný povrch a nahradí ho [11]. Třecí materiál musí být na bázi železa, protože RVS komponenty reagují pouze s tímto povrchem. Prostředky RVS jsou disperzní mnohosložkové směsi přísad, katalyzátorů a minerálů (serpentitit, nefrit a šungit). Maziva a oleje se používají jako nosné médium. **Hlavní výhody jsou nulová změna viskozity oleje (velmi malá koncentrace) a ekologická nezávadnost** [10].

V místech styku vznikají velmi vysoké teploty okolo 900 – 1400 °C. Takto vysoké teploty podporují výměnné reakce mezi základním materiálem a RVS směsí. Tím dochází ke vzniku nových povrchových vrstev v rozměrech několika desetin až desítek mikrometrů. **Narůstající kovokeramická (ferosiliciová) struktura má mnohem nižší drsnost než původní vrstva.** Tím dochází k velmi výraznému snížení tření a opotřebení. Tvrdost této vrstvy je 63 – 70 HRC (většinou se překročí tvrdost původního povrchu, na kterém se aplikuje metoda RVS). Chemická reakce se automaticky zastaví, jakmile dojde ke snížení koeficientu tření mezi kluznou dvojicí, protože se tepelná energie, která podporuje reakci tvorby vrstvy, sníží na minimum. Ferosiliciovou vrstvu lze jen těžko oddělit od původního podkladu. Klasifikuje se

jako **modifikovaná vrstva materiálu** (není to povlak). **Ochrana proti opotřebení je 5 – 6x větší než při použití běžných mazadel.** Vlivem snížení tření olej plní svou funkci mnohem lépe, protože není tak teplotně namáhán [10].

Princip této technologie (viz příloha I). Nejprve dochází ke styku dvou součástí, mezi kterými je mazivo. Třecí plochy se dostávají do kontaktu. Některé vrcholky mikroreliefu jsou velice ostré a vlivem vzájemného tření se ulamují. Tyto úlomky jsou roztroušeny v mazivu (1-2). RVS částice, které vstupují do maziva, jsou větší než vrcholy a díry v povrchu. RVS částice fungují jako „drtič“. Zvýšením teploty začíná tzv. mikrometalurgická reakce (3). V kontaktních místech stoupá teplota až na úroveň 900 – 1400 °C, což vede k chemické reakci. To se děje kvůli katalyzátorů v RVS technologii (know-how společnosti Oy RVS Technology Ltd.). Nová ferosiliciová (kovokeramická) struktura je vytvořena (4). Proces pokračuje, začíná hluboké čištění. Nečistoty, které uvízly v prohlubních mikroreliefu jsou odstraněny. Po této operaci může být olej špinavý a je potřeba ho vyměnit. V opačném případě se nečistoty můžou dostat na stejné místo. Tím by se zabránilo procesu RVS (5). Proces pokračuje. Krystaly se nadzdvihnou nad opotřebovaný povrch a tím ho nahradí (6). Tloušťka nové povrchové struktury nemůže překročit optimální úroveň. Když je totiž úroveň tření dostatečně nízká, proces RVS se zastaví (7) [12]. Postup před, v průběhu a po RVS procesu (viz příloha II) [13].

Významné vlastnosti RVS

- Koeficient tření je velmi nízký ($f = 0,003$);
- kovokeramika se rozpadá při velmi vysoké teplotě ($t = 1575 \div 1600^\circ\text{C}$);
- vysoká tvrdost ($63 \div 70 \text{ HRC}$);
- značná odolnost proti korozi (kyseliny, hydroxidy) a koroznímu poškození;
- spolehlivý optimální chod;
- prodloužení životnosti a snížení hlučnosti;
- nižší spotřeba paliva [10];
- použití bez demontáže a za provozu;
- nižší emise [11].

1.6 Využití technologie SLICK 50

Poskytuje velice komplexní dlouhodobou ochranu motoru. Stal se nejprodávanějším výrobkem na světě. Má jedinečné chemické vlastnosti, při kterých výrazně snižuje tření a opotřebení. **To vše způsobují speciální částice PTFE, kde se nosný olej váže k povrchu.** Výrobce popisuje, že nejvíce dochází k 80 % opotřebení během a po startu motoru. Slick 50 je navrhován tak, aby pracoval se všemi druhy motorových olejů. Technologie Slick 50 snižuje v motoru tření a opotřebení až o 52 % [14].

1.7 Dřík ventilu

Materiál, tvar a povrchová drsnost ovlivňují životnost ventilu. Drsnost povrchu ventilového dříku je dána materiálem. **Jestliže má povrch dříku nízkou drsnost, lze použít měkké vedení.** Tato mezní hodnota pro chromové ventily je 0,04 $\mu\text{m Ra}$, pro ostatní 0,06 $\mu\text{m Ra}$ [9]. Chromová vrstva má pozitivní vliv na kluzné vlastnosti ve vodítku a odolnost vůči korozi a opotřebení [15]. Konec dříku ventilu musí odolávat velkým zatížením od hnacího ústrojí, proto se kalí indukčně, povrchově či celkově [1]. Schéma ventilového rozvodu (viz příloha III a IV).

Materiál ventilu

Otěruvzdornosti za žáru, rozměrové stabilitě, korozivzdornosti, pevnosti a lomové odolnosti musí odolávat oceli a slitiny [7], které jsou určeny pro ventily spalovacích motorů. Norma **EN 10090 (42 0944)** popisuje vhodnost ocelí a slitin na ventily spalovacích motorů.

Výroba výfukových ventilů je běžně v provedení, které se označuje jako **trimetalické** = Co návar + hlava z austenitické oceli nebo Ni slitiny + odporově či třením navařený dřík z martenzitické chromové oceli s kalenou stopkou, která je určená pro kontakt s vahadlem [7]. **V Česku se využívá martenzitická ocel 17 115 (EN 1.4718) a austenitická ocel 17 465 (EN 1.4871).** Aby byla dosažena vysoká pevnost, jsou austenitické oceli zpevňovány N a C, který potlačuje degradaci zrna (vazba na mikrolegury Nb, Ta, Ti). Slitiny Ni, které jsou zpevněny intermetaliky (Nb, Ta, Ti, Al) a jsou vhodné pro ty nejnamáhavější ventily [7]. Vysoký obsah legur N a Mn zajistí homogenní austenitickou matici při obsahu Cr s dostačující

korozivzdorností. Mez obsahu Cr nesmí dosáhnout hranice, při které se v matici objeví intermetalická sigma fáze (způsobuje křehkost). Při obsahu 0,5 % C a N je zaručena vysoká pevnost a odolnost proti opotřebení. Vhodný ventilový materiál se zdá být Ni slitina (NiCr20TiAl nebo NiFe25Cr20NbTi). Výfukové ventily se také vyrábějí práškovou metalurgií. 40 % odlehčení od setrvačných sil zaručují titanové ventily. Keramické ventily jsou výrazně lehčí než ventily z ocele a to o 60 %. Při velkých zátěžích mají větší těsnost [1]. **Čtyřmetalické** ventily se používají pro největší teplotní zatížení např. u sportovních vozů, kde v dutině mezi hlavou a stopkou cirkuluje sodík [1].

Nesmí se připustit mezní tření a přidírání mezi litinovým vodítkem a chromovou stopkou. To by mohlo být způsobeno nepřesným geometrickým uložením, nedostatečným mazáním a špatnou rotací. **Rotace ventilu** (uložením na pružinách) **zmenšuje míru opotřebení.** Vysoké teplotní zatížení vede k nestabilitě struktury austenitických ocelí [1]. **Mezi návarové materiály (sedlo ventilu; plazma),** které odolávají adhezivnímu i abrazivnímu opotřebení za vysokých teplot (1000°C), **patří slitiny kobaltu a niklu.** Tvrdost je zaručena přidavkem karbidu wolframu, kobaltu a chromu.

Výroba sacích ventilů je z martenzitické oceli s povrchově kalenou stopkou a sedlovou plochou. Jedná se o ventily **monometalické** [7]. Používají se do teploty 600 °C. Mají vysoký obsah chromu (10 % a více).

Vrstva tvrdochromu

Obecně chrom odolává chemikáliím, vysokým teplotám, má mimořádnou tvrdost a velkou odolnost proti otěru [8].

Tvrde chromování patří mezi galvanické procesy. Tyto chromové povlaky jsou vyloučeny elektrochemicky. Chrom se vylučuje z kyseliny chromové postupnou redukcí nebo se vylučuje z kyseliny chromové přímo. V chromovací lázni je vylučování chromu dáno valencí. Při použití tvrdého chromování se vylučuje povlak o tloušťce 1 µm až po několik milimetrů [17]. **Výborná antikorozi ochrana, pro ventily, je zaručena vrstvou chromu kolem 15 µm.** Vrstva by neměla přesáhnout rádius hlavy (ostrá hrana).

Tyto velmi tvrdé vrstvy jsou odolné proti opotřebení otěrem [8]. Tato odolnost je **5x až 10x vyšší** než bez použití chromových povlaků. Životnost součásti se také několikanásobně zvýší [17]. Po chromování následuje leštění.

Struktura tvrdochromu

Existují tři modifikace chromových povlaků s odlišnou stavbou mřížky:

- 1) α -chrom, mřížka krychlová, tělesně středěná o konstantě $a = 2,878 \text{ \AA}$;
- 2) β -chrom, mřížka hexagonální o konstantě $a = 2,717 \text{ \AA}$ a $c = 4,419 \text{ \AA}$;
- 3) γ -chrom, manganová mřížka α .

Chrom, který je vyráběný termicky, má mřížku krychlovou, tělesně středěnou. U elektrolyticky vylučovaných chromových povlaků se vyskytují všechny tyto tři typy mřížek. **α -chrom** se vylučuje při vysoké teplotě lázně a malé proudové hustotě (např. lázeň s kyselinou sírovou). **β -chrom** se vylučuje naopak při nízké teplotě lázně a velké proudové hustotě, ale i při vysoké teplotě chromovací lázně (obsahující zvláště fluoridy, fluorokřemičitany či větší množství chromitých sloučenin) a malé proudové hustotě. **γ -chrom** se vylučuje při stejných podmínkách jako u vylučování α -chromu, koncentrace kyseliny chromové je však daleko slabší. Měkké mléčné povlaky mají zpravidla hexagonální mřížku. Pololesklé povlaky (přechod od mléčných či šedých povlaků po velmi lesklé) jsou směsí všech tří modifikací [17].

Tvrдост tvrdochromu

Elektrochemické vylučování těchto tvrdochromových povlaků má za následek vysokou tvrdost (800 až 1200 HV) [17]. Tento vyloučený chrom je směsí alotropických struktur kubicky centrické a hexagonální. **Deformace mříže, která podmiňuje tvrdost, je způsobena zejména uzávěry kyslíkatých sloučenin chromu.** Tvrdost chromových vrstev je dána **obsahem kysličníku chromitého.** Obsah sloučeniny této chromité vrstvy je okolo 1%. Vodík se při deformaci účastní jen s částí. Formy chromu se liší od sebe jak obsahem vodíku, tak krystalovou formou. **Krystalizace ovlivňuje tvrdost chromové vrstvy.** Při rostoucí proudové intenzitě a teplotě nejprve roste tvrdost k maximu a pak klesá. Tento děj doprovází vzrůstající hrubnutí krystalů, přitom vzájemná soudržnost se zmenšuje. **Tvrdost také ovlivňuje složení elektrolytu [18]. Optimální tvrdost, při které jsou povlaky stálé, je cca 860 HV.** Povlaky, které jsou tvrdší, jsou nestálé. Proto by se optimální

tvrdosti mělo docílit vhodným žíháním. Jednotlivé vlivy, které ovlivňují velkou tvrdost chromových povlaků, jsou shrnuty v následujících bodech:

- **orientace a velikost krystalů;**
- **obsah kysličníku chromitého** (při teplotách vyšších než 700°C reaguje chromový povlak se základním kovem a tvoří se tvrdé vrstvy obsahující nitrid chromu, kysličník chromitý a jiné sloučeniny), **kyslíku** (závisí na teplotě a pracovních podmínkách) **a vodíku** (deformace mřížce, difuze způsobuje křehkost, zmenšuje se statická a dynamická pružnost kovů, jeho obsah se zmenšuje při vyšších teplotách cca 1000°C) **v chromovém povlaku;**
- **cizí látky** (anionty a kationty v chromovací lázni);
- **pracovní podmínky** (proudová hustota a teplota lázně).

Velikost zrn chromového povlaku by měla být mezi $0,8 \cdot 10^{-6}$ cm až $1,4 \cdot 10^{-6}$ cm. Tato tvrdost se zmenšuje při zrně větším než $2 \cdot 10^{-6}$ cm [17,18].

Výborné třecí hodnoty se dosáhnou při použití dvojice tvrdochromu s perlitickou litinou, kompozici či olovnatého bronzu. Dobrých hodnot se dosáhne u měkké oceli či u tvrdé oceli s nízkou drsností a dostatečným mazáním. Špatné výsledky vykazují při tření chromu proti chromu, či lehkým slitinám nebo fosforovému bronzu [18].

1.8 Vodítko ventilu

Tento komponent je v motoru velice důležitý, protože **odvádí 25 % tepla**, které je vyvíjeno motorem [15]. Norma **ONA 30 2207** popisuje vhodnost vodítek.

Výroba vodítek je z litin a speciálních slitin, mezi které patří slitiny křemíku, bronzu, slitiny manganu nebo z oceli s přídavkem chromu, fosforu, případně jiných otěruvzdorných materiálů [15].

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro stanovení hypotézy opotřebení byly zkoumány dříky ventilů ve spojitosti s vodítky od firmy TRW Dačice a.s. a firmy TEDOM s.r.o. s různým stupněm degradace. V prostoru vůle ventilu vlivem vysoké teploty spalin, mazacího média a dalších aspektů dochází k degradaci materiálu. Vedení ventilu musí mít předepsaný tvar (rozměry) a ventil ve dvojici s vodítkem musí být souosý. Jakmile je tento aspekt porušen, dochází k mechanismu opotřebení a postupem provozních hodin může být průměr vodítek oválný (kónický). Vůle mezi ventilem a vodítkem také nesmí být překročena. Nesmí se připustit meznímu stavu (zadření). Materiál vodítek také může značně ovlivnit mechanismus opotřebování Cr vrstvy na ventilu, a proto je jejich vývoj také důležitý.

Za mezních provozních podmínek dochází k postupné degradaci maziva. Projevuje se především **mechanismus abrazivního, adhezivního opotřebení a mechanismus opotřebení vlivem tepelné koroze**.

K mechanismu abrazivního opotřebení dochází nejprve buď z důvodů vniknutí cizí částice vlivem nekvalitního těsnění mezi vodítko a Cr vrstvu, nebo jestliže je povrch vodítka výrazně měkčí než Cr vrstva. Při vzájemném pohybu dochází nejprve **k plastické deformaci** nebo dochází k **odřezávání** měkčího povrchu – vodítka a tím k vniknutí částice, která obrušuje povrchy a vytváří nerovnosti. Postupným pohybem zleva doprava vznikají **abrazivní rýhy**, které se rozšiřují. **Vysokoteplotní degradace maziva s produkty spalování plynů může tvořit abrazní prostředí.**

K mechanismu adhezivního opotřebení dochází vlivem vysokého tlaku mezi vodítkem a Cr vrstvou. Vnikají tzv. **lokální svary** z důvodů odhalení povrchu vodítka a Cr vrstvy. K odhalení základního kovu dochází ztrátou oxidové vrstvy (absorbované plyny a produkty chemické reakce), která se při kontaktu s nerovnostmi povrchů porušuje. Tento mechanismus se výrazně urychluje vlivem **velké rychlosti** pohybu mezi vodítkem a dříkem ventilu, dále při **zatížení** (nesouosost) a jestliže chybí **stabilní oxidická vrstva na povrchu**.

Mechanismus abrazivního a adhezivního opotřebení je vzájemně propojený v případě dvojice ventilového dříku a vodítka.

K mechanismu opotřebení vlivem tepelné koroze dochází postupně za **působení produktů spalin**. Velký význam má vliv použitého paliva a množství

vzduchu použitého při spalování. Dochází k bodové korozi. Tepelná koroze může odstranit zcela hmotu původního povrchu.

Na povrchy vnitřní strany vodítek a Cr vrstvy ventilů je třeba se podívat pod stereomikroskopem a na základě toho vybrat části s ukázkou postupné degradace kluzného povrchu. Odebrat vzorky a zjistit mechanismus této degradace pod rádkovacím elektronovým mikroskopem a na základě toho stanovit hypotézu opotřebení s různým počtem provozních hodin (najatých kilometrů).

2.1 Značení zkoumaných ventilů a vodítek

sací a výfukové ventily

- **TRW C 028** – výfukový ventil od firmy TRW Dačice a.s. pro plynový motor, palivo bioplyn, materiál: stopková část dříku – 1.4718 (X45CrSi9-3), hlavová část dříku – 1.4871 (X53CrMnNiN21-9), sací a výfuková vodítka pochází z hlavy válců ozn. X492 : motor z kogenerační jednotky, skládka odpadu Březinka asi 5000h provozu.
- **TRW C 014/0504** – sací ventil od firmy TRW Dačice a.s. pro naftový motor, palivo nafta, materiál: stopková část dříku – 1.4718 (X45CrSi9-3), hlavová část dříku – 1.4871 (X53CrMnNiN21-9), 200 000 najetých kilometrů.
- **TRWT1209030** – výfukový ventil od firmy TRW Dačice a.s. pro „STECHIO“ motor, palivo plyn, materiál: stopková část dříku – 1.4718 (X45CrSi9-3), hlavová část dříku – 2.4952 (NiCr20TiAl), maximálně 3000 najetých kilometrů.
- **75566TB39** – sací ventil od firmy TRW Dačice a.s. pro „STECHIO“ motor, palivo plyn, materiál: stopková část dříku – 1.4718 (X45CrSi9-3), hlavová část dříku – 1.4871 (X53CrMnNiN21-9), maximálně 3000 najetých kilometrů.

sací a výfuková vodítka

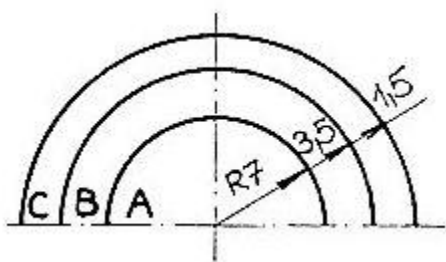
- **TEDOM 6 8 014 0533** – vodítko pro výfukový ventil od firmy TEDOM s.r.o.

- **TEDOM 5 8 014 0525** – vodítko pro výfukový ventil od firmy TEDOM s.r.o.
- **TEDOM 5 9 013 0155** – vodítko pro sací ventil od firmy TEDOM s.r.o.
- **TEDOM 5 9 013 0028** – vodítko pro sací ventil od firmy TEDOM s.r.o.

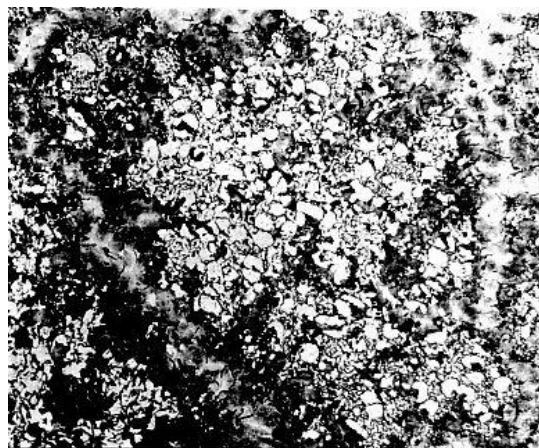
2.2 Vývoj vodítek

Z hlediska neustálých nároků přicházely jednotlivé stupně vývoje materiálu vodítek.

Z roku 1993 byla vodítka z šedé litiny (litina s rovnoměrným lupínkovým grafitem a perlitickou matricí; materiál ČSN 422425; odlitek ČSN 01 4470.4; tvrdost 190 až 240HB). Protože struktura v odlitku je nehomogenní, je rozdělena podle obr. 2.1 na tři pásma. V prvním pásmu od povrchu vodítka do hloubky 1,5mm (místo A) je struktura následující: matrice feritická s perlitickými hranicemi buněk. Od 1,5mm do 5mm (místo B) je struktura perlitická (70 až 85%), která je také nejkvalitnější. Od 5mm do středu vodítka (místo C) je struktura složená z přechlazeného grafitu s 90% F ohraničený perlitem (40 až 60%). Na obr. 2.2 je zobrazena struktura odlitku v místě C.



Obr. 2.1: Pásma odlitku [19]

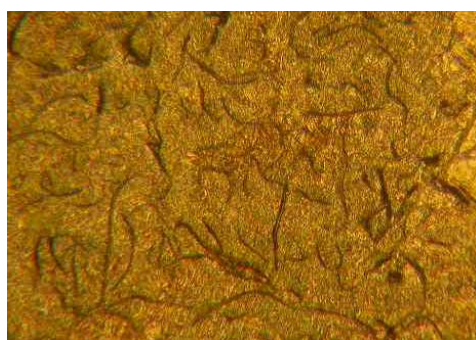


Obr. 2.2: Struktura v místě C (zvětšeno 100x) [19]

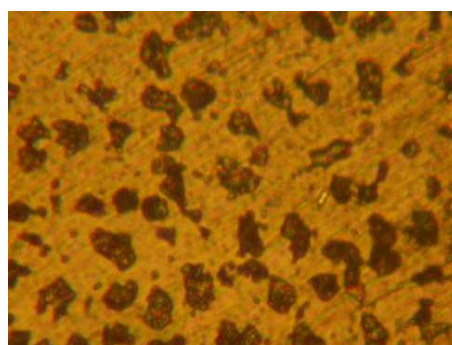
Při 190HB a větší dosahuje vodítko výborné kluzné vlastnosti, ale naopak nižší únosnost a malou tuhost. Litina s lupínkovým grafitem má schopnosti útlumu a snížení citlivosti na vruby [19]. Výkres (viz příloha V). Tato struktura s častým výskytem škodlivého feritu (povoleno max. 10%) nevyhovovala, proto bylo zavedeno izotermické kalení vodítek.

Izotermicky kalená litina, jejichž vlastnosti se blíží zušlechtěným ocelím, má vysokou odolnost proti opotřebení, pevnost a tvrdost. Použitelnost této litiny je do teploty izotermického kalení, pak se její vlastnosti mění (350 - 400°C). Výkres vodítka ventilu, které je izotermicky kaleno (viz příloha VI). Tvrdost této izotermicky kalené litiny je větší (250 až 275 HB). Na obr. 2.3 je struktura této litiny.

Další výzkum materiálu vhodný pro vodítka ventilu z hlediska teplotní, abrazivní, korozní odolnosti se řadí disperzně vytvrzená slitina Cu. Tato neželezná slitina je na obr. 2.4.



Obr. 2.3: Struktura izotermicky kalené litiny [21]



Obr. 2.4: Kluzná slitina Cu s odleptanou disperzní složkou [21]

Dále konstrukce Tedom využila nabídku firmy Motorservice a objednala u nich litinu se složením: C 3,2 – 3,5; Si 1,8 – 2,2; Mn 0,6 – 0,8; P 0,65 – 0,9; S max 0,12; Cr max 0,2 [%] jako polotovár SR1029. Tato litina se však špatně obrábí. Odolnost opotřebení do 600 °C umožňuje struktura s vysokým obsahem P ve formě fosfidického eutektika. Výkres vodítka (viz příloha VII).

Další možností pro vedení ventilů je využití perspektivní slitiny CuAl10Ni5Fe4 dle ČSN EN12163, která se blíží vlastnostem Cu disperzně vytvrzené.

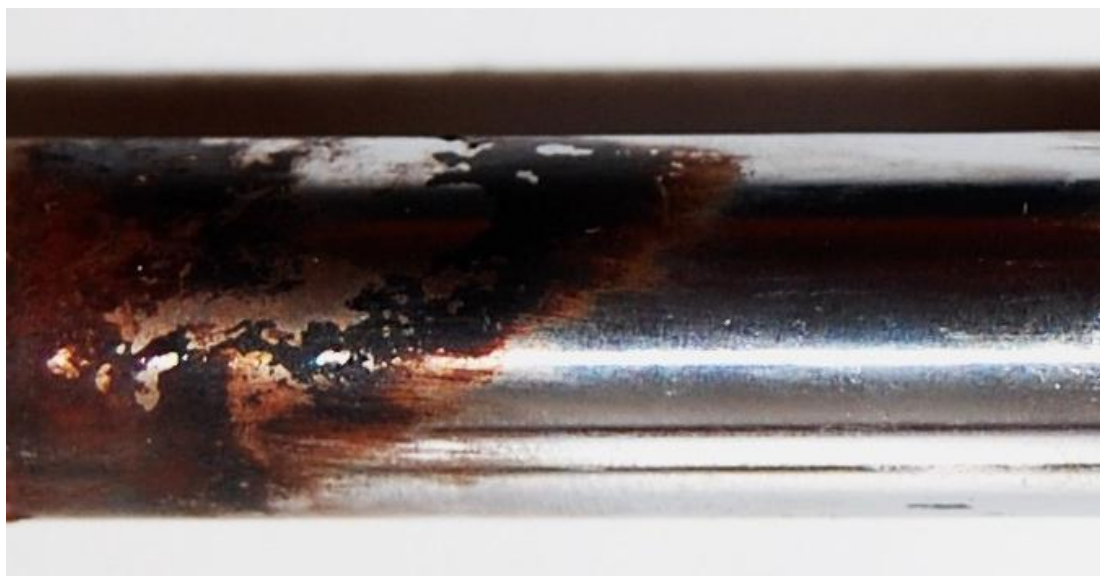
Materiálový výzkum v Evropě pro provozně nejexponovanější vedení dospěl nyní k slitinám na bázi Ni s přísadami 12Cr 6Sn a 6Bi a Mo. Tato slitina odolává nejvyšším teplotám a korozi.

2.3 Fotodokumentace dříků ventilů a vodítek

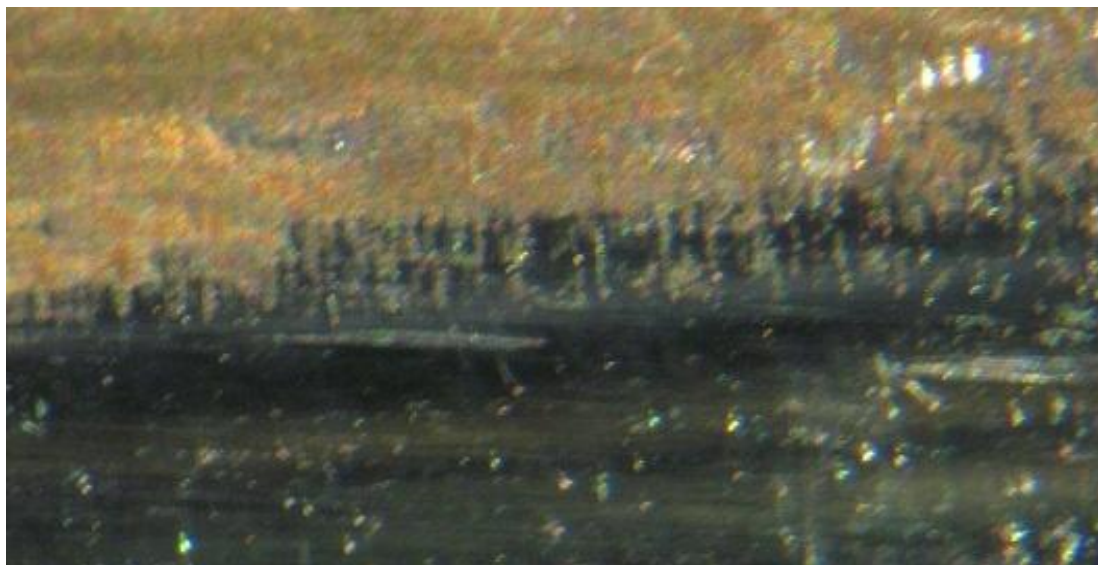
Vodítka a ventily byly foceny fotoaparátem NIKON D40. Použitý výfukový ventil TRW C 028 (obr. 2.5) má od sedla směrem k dříku ventilu viditelnou vrstvu nánosu spalin, která na ventilu ulpěla vlivem velmi vysoké teploty (teplota spalin na sedlových plochách dosahuje 1000 °C). Použitý sací ventil TRW C 014/0504 (obr. 2.9) odolává nižším teplotám a tuto vrstvu nemá, protože přes něj prochází pouze vzduch. Zvětšení opotřebované Cr vrstvy pomocí stereomikroskopu SPZ 11-T ZOOM výfukového ventilu je na obr. 2.7, ventilu Stechio na obr. 2.8 a sacího ventilu na obr. 2.12.



Obr. 2.5: Opotřebovaný výfuk. ventil - 5000 provozních hodin (TRW C 028)



Obr. 2.6: Postupné opotřebování Cr vrstvy ventilového dříku (TRW C 028)



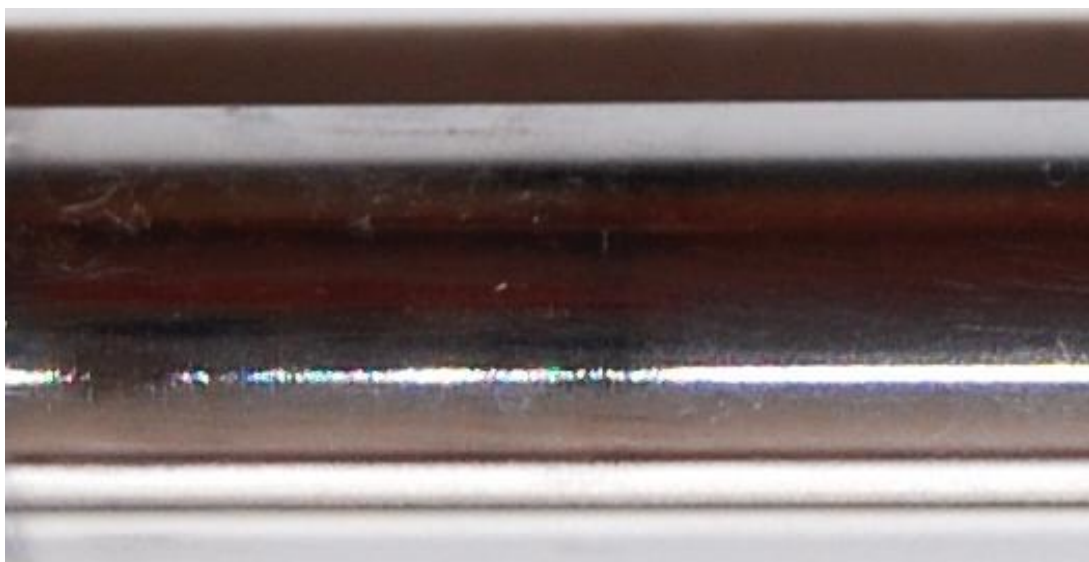
Obr. 2.7: Počátek „připékání“ výfukových spalin k Cr povrchu dříku (TRW C 028)



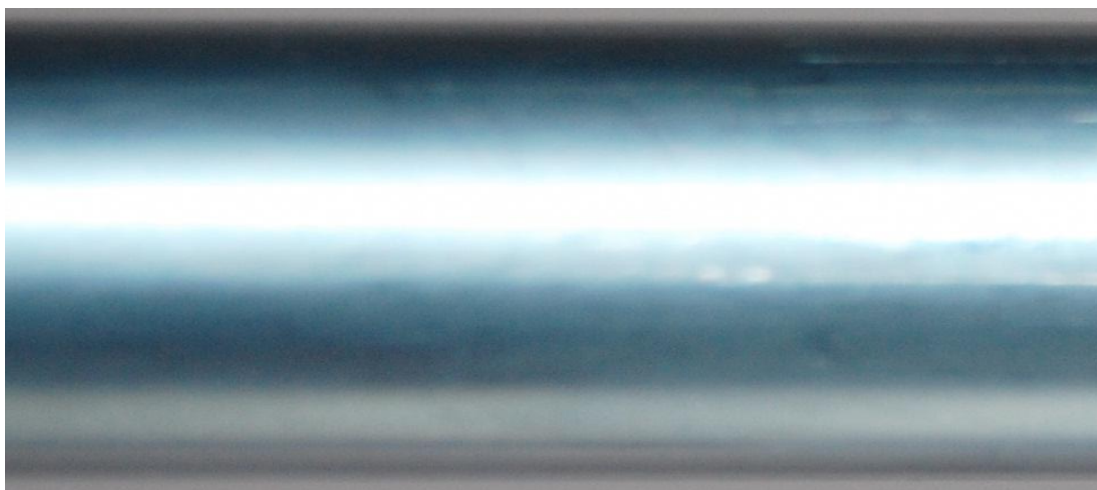
Obr. 2.8: Důlkatý „pomerančový“ povrch dříku u hlavy ventilu (TRWT120)



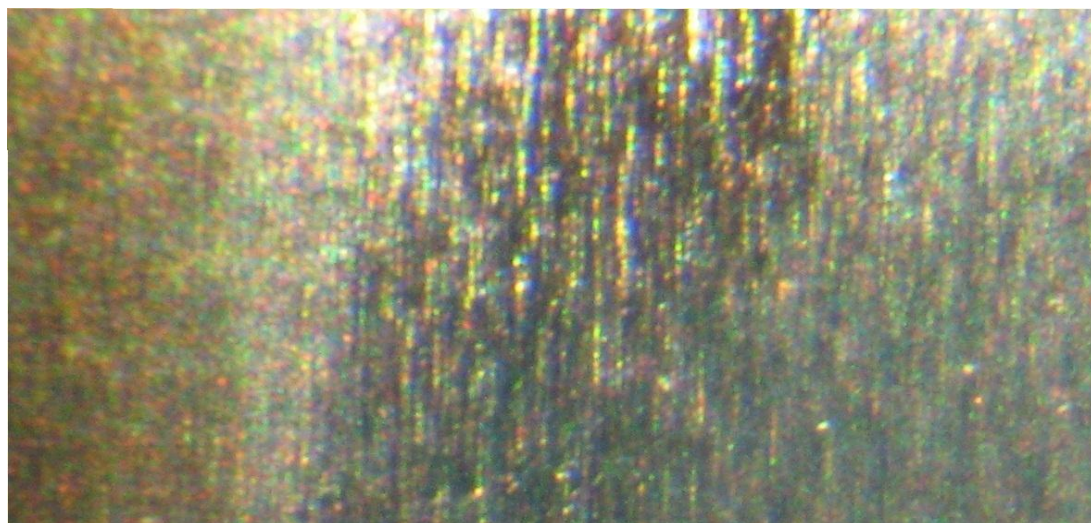
Obr. 2.9: Opatřebovaný sací ventil - 200 000 kilometrů (TRW C 014/0504)



Obr. 2.10: Postupné opotřebování Cr vrstvy ventilového dříku (TRW C 014/0504)



Obr. 2.11: Nová (neopotřebovaná) Cr vrstva ventilového dříku



Obr. 2.12: Příčné adhezní smykové stopy blíže k sedlu ventilu (TRW C 014/0504)

Pro zjištění vnitřního povrchu byla vodítka rozříznuta podélným řezem kotoučovou pilou, aby se odkryla opotřebovaná vrstva sacích i výfukových vodítek. K tomu byl zapotřebí přípravek pro upnutí, aby se docílilo správného řezu. Detailnější povrch dříků byl zkoumán pomocí stereomikroskopu SPZ 11-T ZOOM.

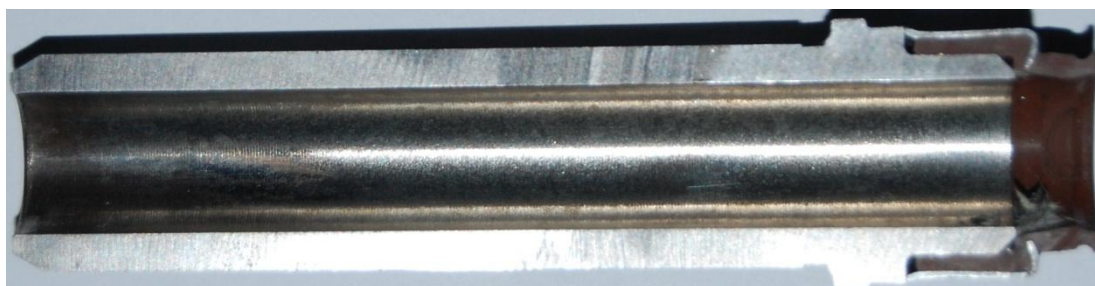
Na první pohled je viditelné ovlivnění výfukových vodítek vysokou teplotou spalin, a proto je jejich povrch převážně načernalý. Tento načernalý povrch je důsledkem vzájemného tření mezi výfukovým ventilem (dříkem) a výfukovým vodítkem. U sacích vodítek tento načernalý povrch chybí. Vnitřní průměr je dle obr. 2.22 u některých vodítek oválný (kónický). Tento stav má za následek vysoké opotřebení. Také těsnění je značně opotřebované. Na obr. 2.13 až obr. 2.21 jsou zobrazena opotřebovaná sací a výfuková vodítka i v podélném řezu.



Obr. 2.13: Opotřebované sací vodítko
(TEDOM 5 9 013 0155)



Obr. 2.14: Opotřebované sací vodítko
(TEDOM 5 9 013 0028)



Obr. 2.15: Vnitřní povrch sacího vodítka (TEDOM 5 9 013 0028)



Obr. 2.16: Vnitřní povrch sacího vodítka (TEDOM 5 9 013 0155)



Obr. 2.17: Opotřebované výfuk. vodítko
(TEDOM 5 8 014 0525)



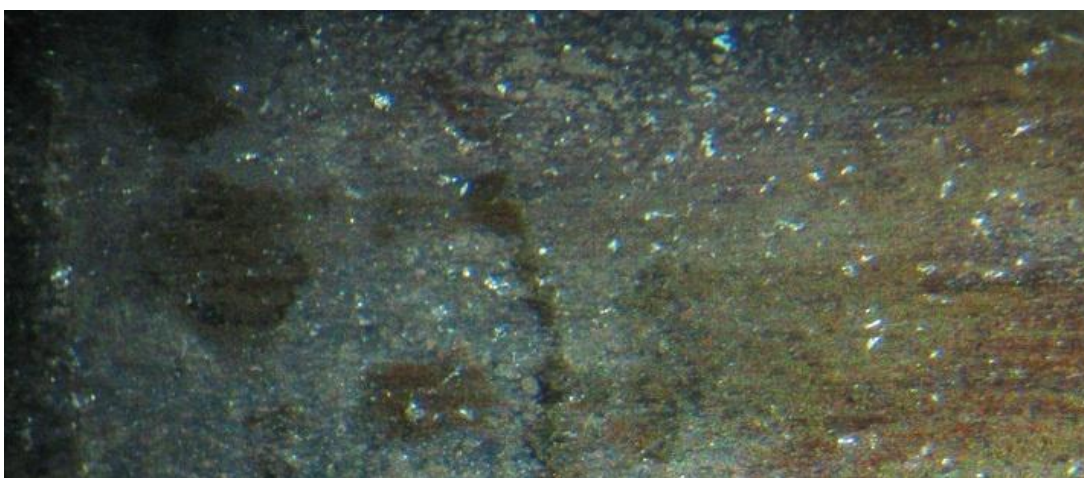
Obr. 2.18: Opotřebované výfuk. vodítko
(TEDOM 6 8 014 0533)



Obr. 2.19: Vnitřní povrch výfukového vodítka (TEDOM 5 8 014 0525)



Obr. 2.20: Vnitřní povrch výfukového vodítka (TEDOM 6 8 014 0533)

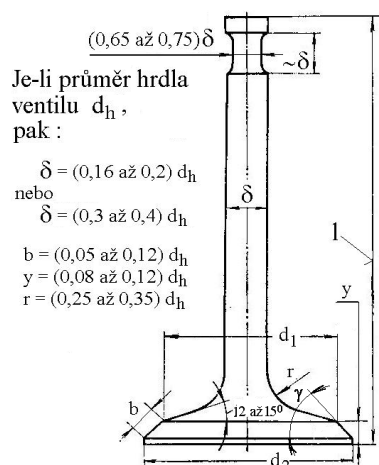


Obr. 2.21: Adhezivní stopy vodítka – vytrhávání částic (TEDOM 5 8 014 052)



Obr. 2.22: Ukázka kruhového (oválného) tvaru vnitřního průměru opotřebovaných výfukových vodítek

2.4 Základní rozměry ventilů a vodítek



Rozměry ventilu jsou zobrazeny na obr. 2.23. Základní rozměry (průměr dříku, průměr hlavy, celková délka a úhel sedla ventilu) pro sací a výfukový ventil jsou zobrazeny v tab. 2.1 a tab. 2.2. Rozměry byly měřeny pomocí digitálního posuvného měřítka a nastavitelného úhloměru.

d_2 - průměr hlavy [mm], l – celková délka ventilu [mm], δ - průměr dříku [mm], γ – úhel sedla ventilu [°].

Obr. 2.23: Rozměry ventilu [1]

Tab. 2.1: Základní rozměry sacího ventilu

ventil	měření	d_2 [mm]	l [mm]	δ [mm]	γ [°]
sací (TRW C 014)	1.	57,05	160,52	12,05	30,1
	2.	57,04	160,53	12,1	30,2
	3.	57,05	160,52	12,07	30,1
	průměr	57,05	160,52	12,07	30,13

Tab. 2.2: Základní rozměry výfukového ventilu

ventil	měření	d ₂ [mm]	l[mm]	δ[mm]	γ[°]
výfukový (TRW C 028)	1.	52,15	160,51	12,03	20,1
	2.	52,16	160,54	12,05	20,1
	3.	52,17	160,55	12,03	20
	průměr	52,16	160,53	12,04	20,07

Naměřené hodnoty průměru dřívku byly měřeny na třech místech (nahore, střed, dole). U výfukového ventilu jsou na dolní části dřívku usazeny spaliny, proto bylo měření provedeno nad tímto ovlivněným místem. Průměr hlavy se liší o cca 5mm.

Použitá vodítka byla naměřena pomocí digitálního posuvného měřítka. Vnitřní průměr byl měřen na „teplém“ konci. U některých výfukových vodítek je oválný (mechanismus opotřebení), proto se nepočítá z průměru naměřených hodnot. Naměřené hodnoty popisuje tab. 2.3.

Tab. 2.3: Základní rozměry vodítek

vodítko	měření	d[mm]	D[mm]	b[mm]
Sací (TEDOM 5 9 013 0155)	1.	12,19	18,11	84,1
	2.	12,23	18,1	84,15
	3.	12,21	18,1	84,17
	průměr	12,21	18,10	84,14
Sací (TEDOM 5 9 013 0028)	1.	12,17	18,13	84,21
	2.	12,15	18,12	84,19
	3.	12,19	18,12	84,2
	průměr	12,17	18,12	84,20
Výfukové (TEDOM 5 8 014 0525)	1.	12,35	18,15	81,9
	2.	12,7	18,16	81,84
	3.	12,24	18,15	81,88
	průměr	x	18,15	81,87
Výfukové (TEDOM 6 8 014 0533)	1.	16,51	18,15	82,31
	2.	13,81	18,12	82,29
	3.	14,93	18,14	82,3
	průměr	x	18,14	82,30

Kde: d - vnitřní průměr vodítka [mm], D – vnější průměr vodítka [mm], b – celková délka vodítka [mm].

2.5 Zjištění postupné degradace kluzného povrchu pomocí REM

Pomocí řádkovací (rastrovací) elektronové mikroskopie (REM, SEM) byly zjištěny a porovnány stupně degradace kluzného povrchu jak na dřících ventilu, tak na vodítkách. Touto metodou se dosahuje **vysoké rozlišovací schopnosti, velké hloubky ostrosti a také velkého zvětšení**. Úzký svazek elektronů je zaměřený na zkoumaný vzorek. Vychýlení cívky umožní řádkování a tím i snímání povrchu (registrování údajů povrchu vzorku). Pro vytvoření požadovaného obrazu struktury se využívá sekundárních (SE) a zpětně odražených elektronů (BSE). Sekundární elektrony jsou nositeli informace o topografii vzorku, zatímco zpětně odražené elektrony umožňují registrovat změny v chemickém složení zkoumaného materiálu.

Primární paprsek je pomocí daných cívek vychylován vychylovacím systémem o určitou hodnotu. Postupně se po řádcích snímá povrch vzorku. Snímací ploška je obdélníková (čtvercová).

Schéma řádkovacího elektronového mikroskopu (viz příloha VIII) a elektronový mikroskop TESCAN Vega II XMU, na kterém bylo měřeno (obr. 2.24).



Obr. 2.24: Elektronový mikroskop TESCAN Vega II XMU

Části a funkce elektronového řádkovacího mikroskopu

Elektronové dělo – Uvnitř elektronového děla je wolframové vlákno (žhavená katoda), která umí emitovat elektrony.

Anoda a kondenzující čočky – tyto elektromagnetické čočky slouží ke kondenzaci elektronů do nejhustšího svazku.

Objektivové čočky – tyto elektromagnetické čočky slouží k usměrnění svazku na požadované místo vzorku.

Vzorek - musí být vodivý (vzorek by se jinak nabíjel), nevodivé vzorky se musí pokovovat (vrstva zlata).

Rotační pumpy – zajišťují vakuum, jinak by svazek elektronů narážel na částice vzduchu.

Sekundární elektrony (SE) – Elektron, který se odrazí zpět od atomu vzorku, se detekuje na čítači zpětně odražených elektronů. Pomocí úhlu dopadu a požadované energie elektronu se zjišťuje z jakého místa a hloubky přichází elektron. Z důvodů malé energie se dá pozorovat vzorek do hloubky 10 nm.

Zpětně odražené elektrony (BSE) – u těchto primárních odražených elektronů se jejich energie příliš nesnížila, ale změnil se pouze směr. Tyto odražené elektrony unikají z o něco hlubších oblastí, proto kromě obrazu povrchu je získán i obraz z hlubších vrstev. Existuje řada módů pro pozorování zpětně odražených elektronů.

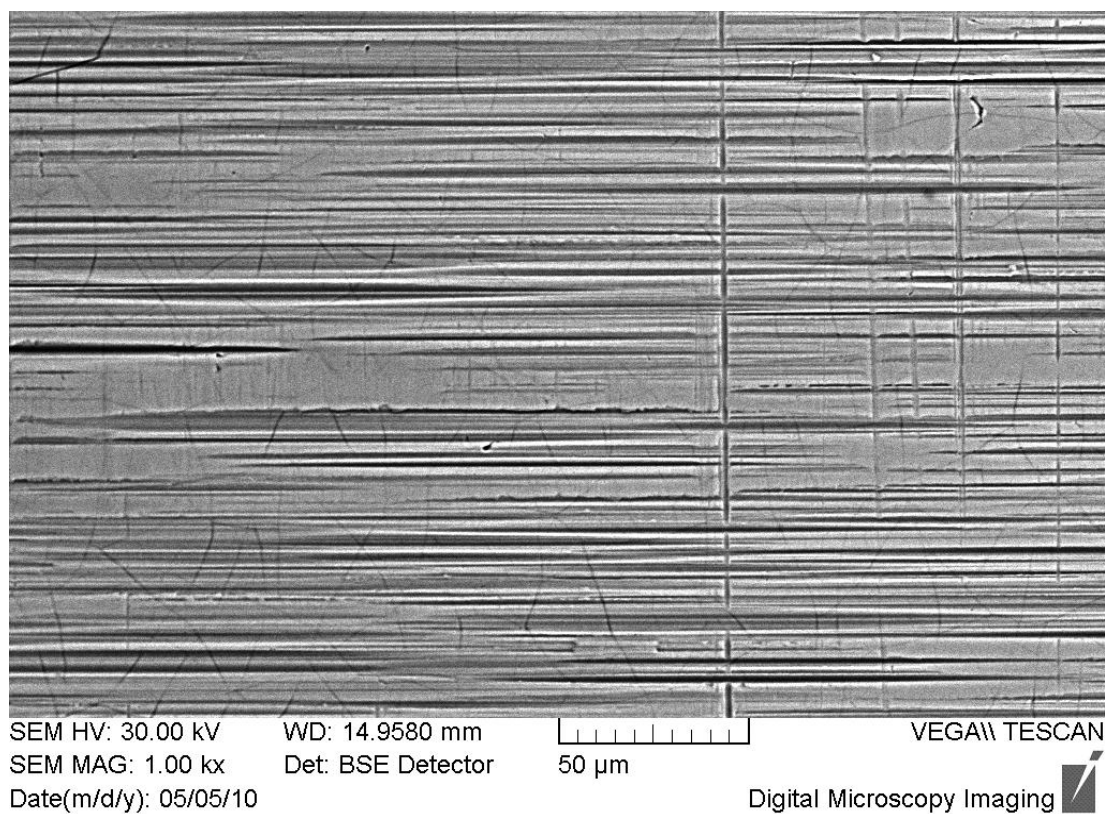
Rentgenové záření – se detekuje pomocí systému EDS. Z důvodů jiného charakteristického záření pro každý prvek jsme schopni poměrně přesně určit jeho složení.

Analýza vzorků

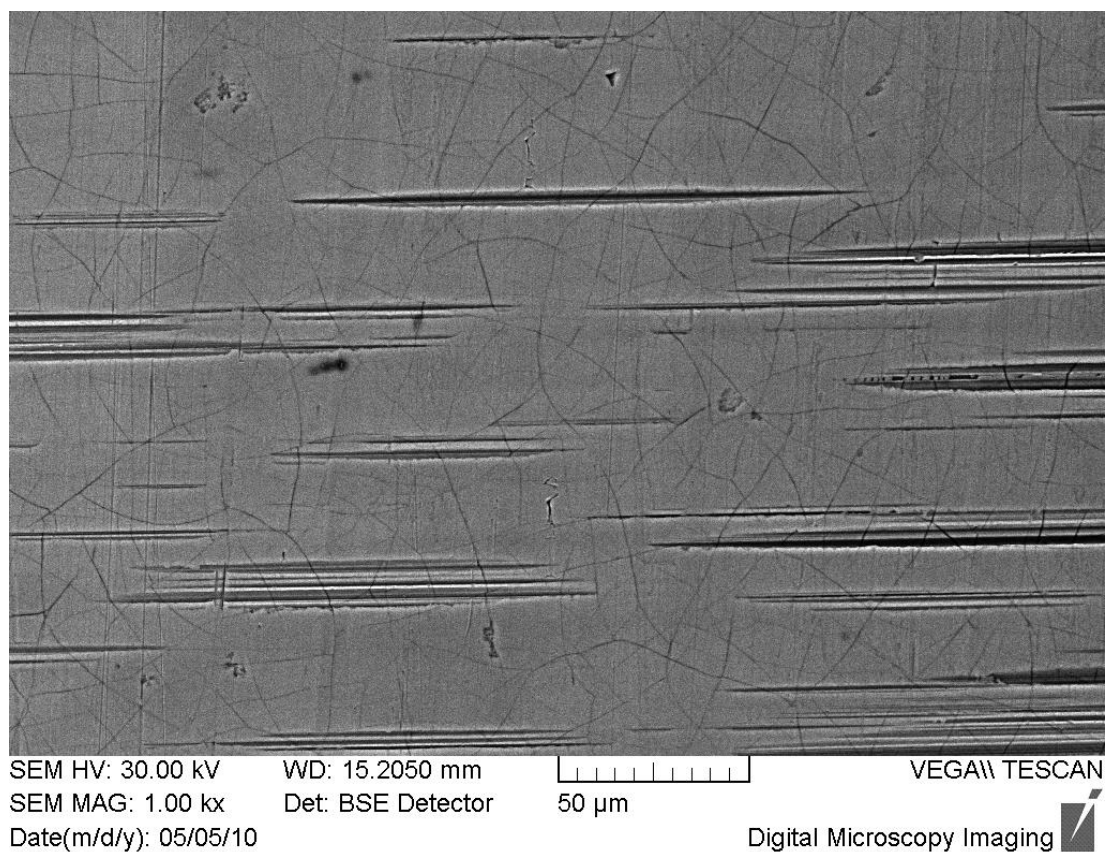
Pro analýzu povrchu pomocí REM byly vybrány části s největším opotřebením (stereomikroskop SPZ 11-T ZOOM) a na základě toho odebrány tyto vzorky pomocí kotoučové pily ze sacího ventilu a výfukového ventilu (TRW C 014/0504, TRW C 028), sacího vodítka a výfukového vodítka (TEDOM 5 9 13 0155 a TEDOM 5 8 014 0525). Většinou se odebral konec a začátek dříku a vodítka. Odebrané vzorky (cca 1cm²) byly následně důkladně očištěny a zkoumány elektronovým mikroskopem TESCAN Vega II XMU. Požadovaný povrch byl zobrazen pomocí sekundárních elektronů (SE - secondary electrons) a zpětně odražených elektronů (BSE - back scattered electrons).

Dvojice vedení sacího ventilu s dříkem o stejném průběhu jako opotřebená dvojice výfukový dřík se svým vedením (ventily TRW C 014/0504, TRW C 028 a vodítka TEDOM 5 9 13 0155 a TEDOM 5 8 014 0525).

1) Sací dvojice – vyhovující stav (TRW C 014/0504, TEDOM 5 9 13 0155)

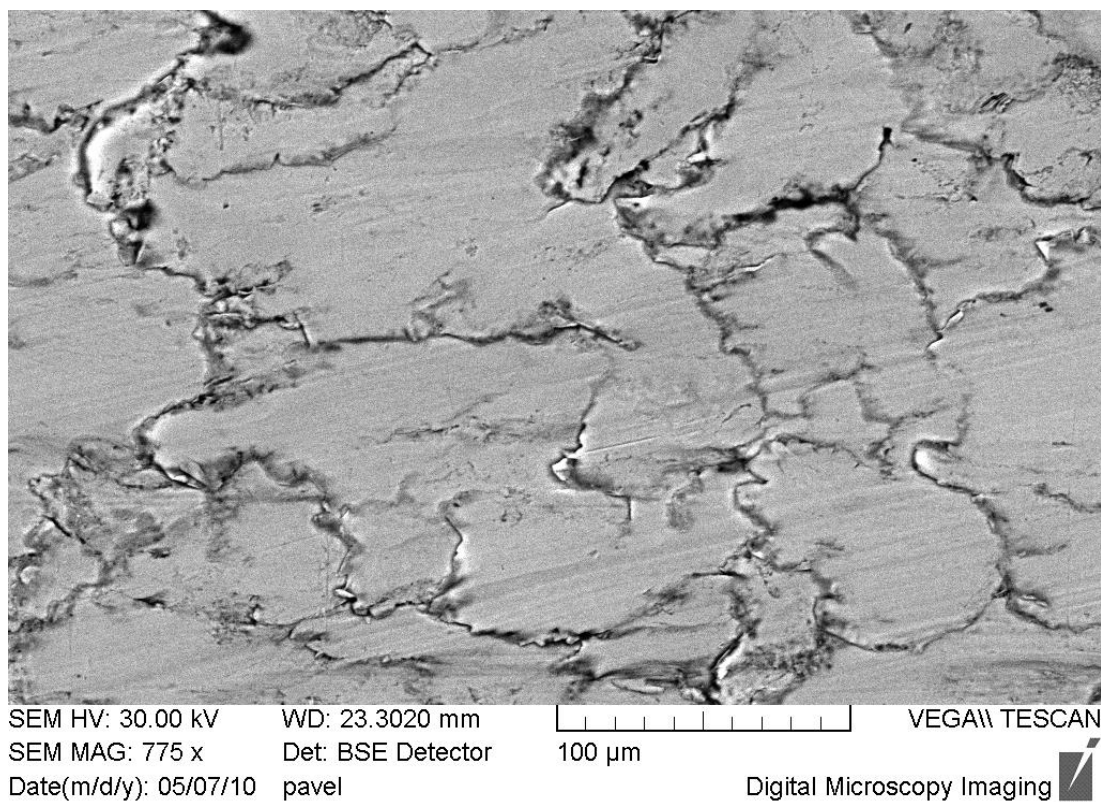


Obr. 2.25 Povrch dříku blíže k stopce ventilu (TRW C 014/0504)

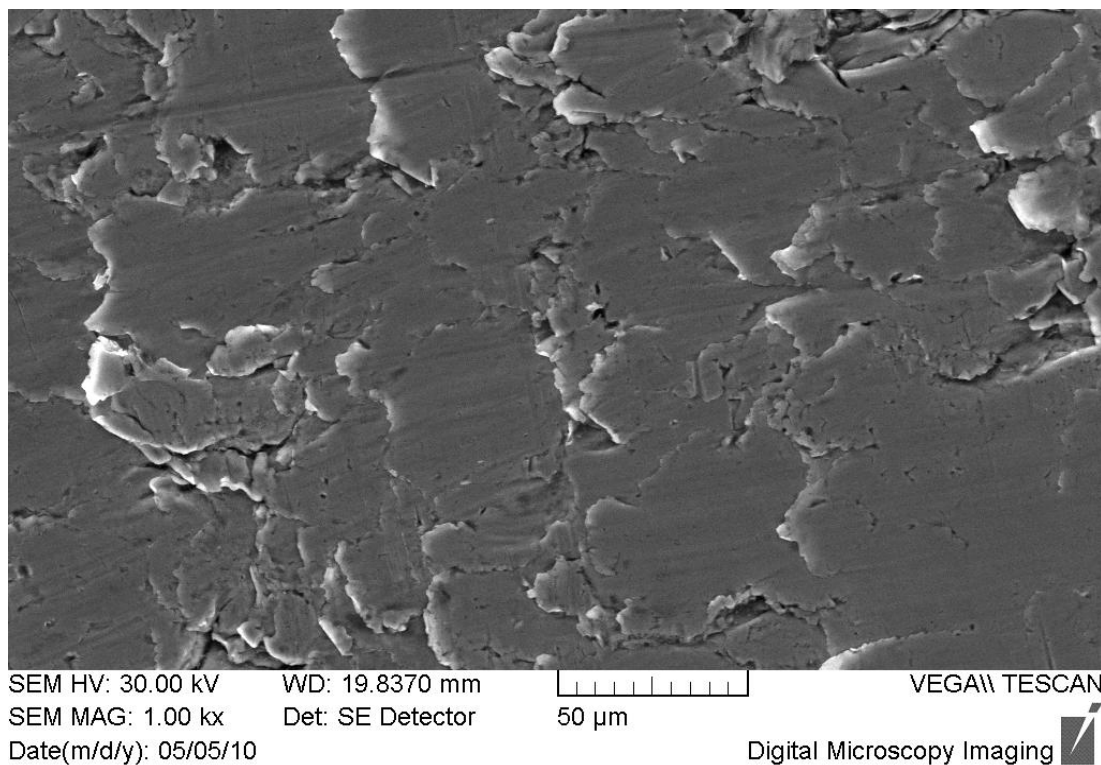


Obr. 2.26 Povrch dříku blíže k stopce ventilu (TRW C 014/0504)

Na obr. 2. 25 jsou brusné rýhy z výroby a hladký povrch galvanické Cr vrstvy je popraskaný, na obr. 2.26 se ojediněle vyskytují skvrny, povrch Cr vrstvy je také popraskaný. Žádné abrazní či adhezní pásy.



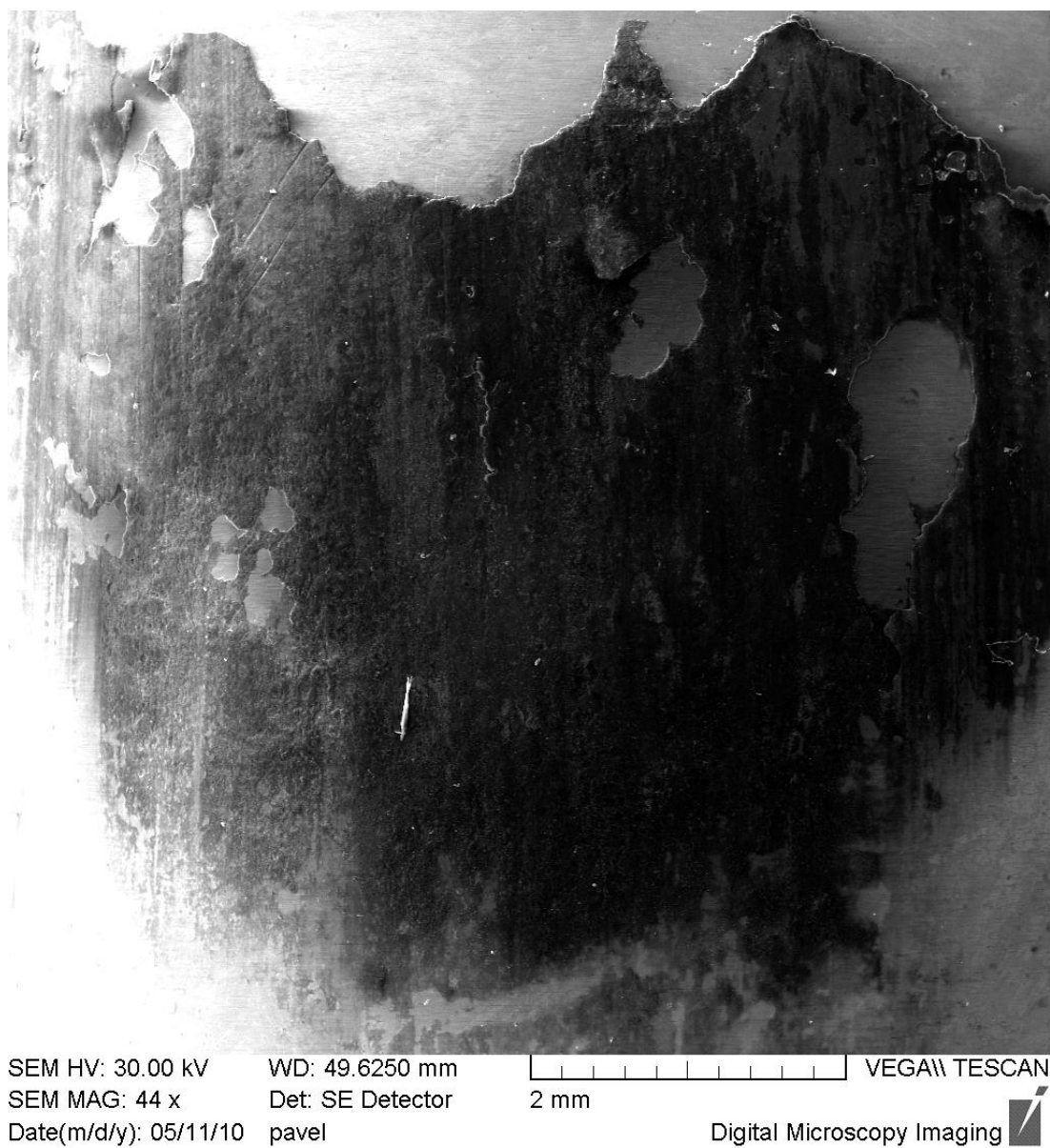
Obr. 2.27 Povrch vodička blíž k „studenému“ konci (TEDOM 5 9 13 0155)



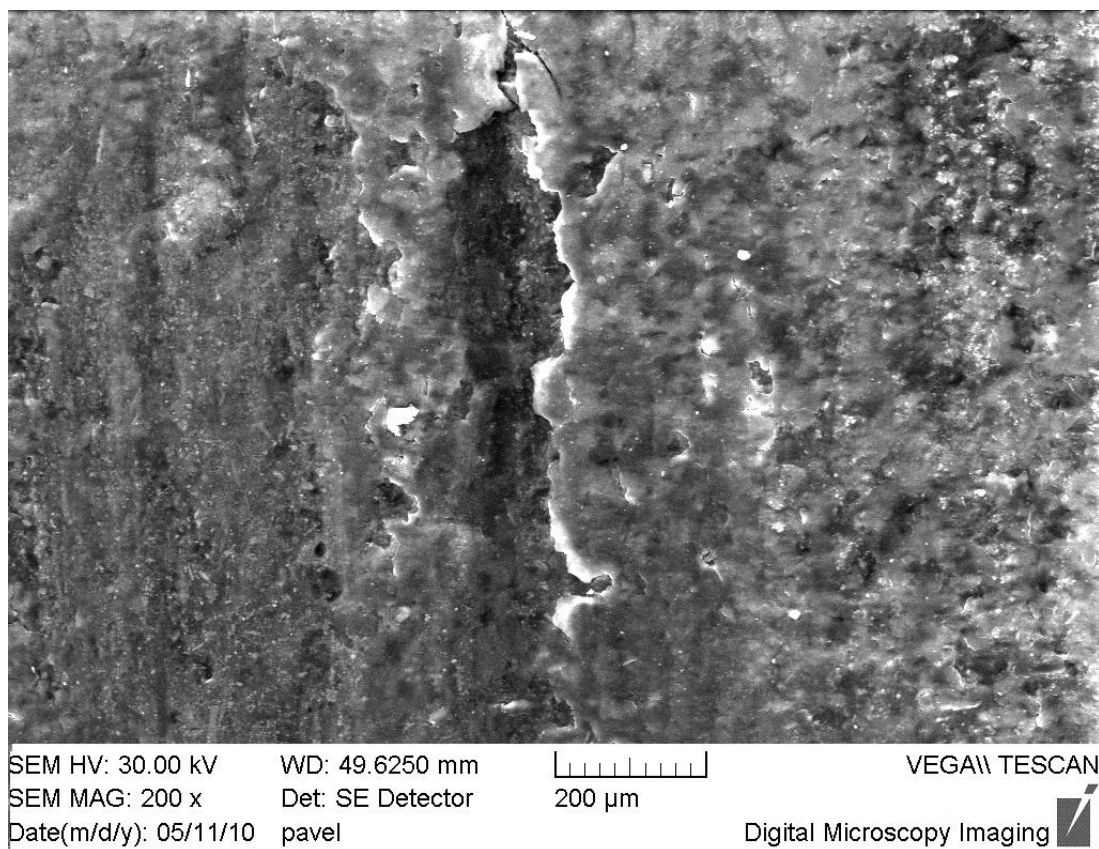
Obr. 2.28 Povrch vodička blíž k „teplému“ konci (TEDOM 5 9 13 0155)

Na obr. 2.27 a 2.28 je vidět šupinatý povrch – šupiny (plasticky deformovaná železná matrice litiny překrytých lamel grafitu) – ve směru obrábění a ne kluzného pohybu. Žádné opotřebení.

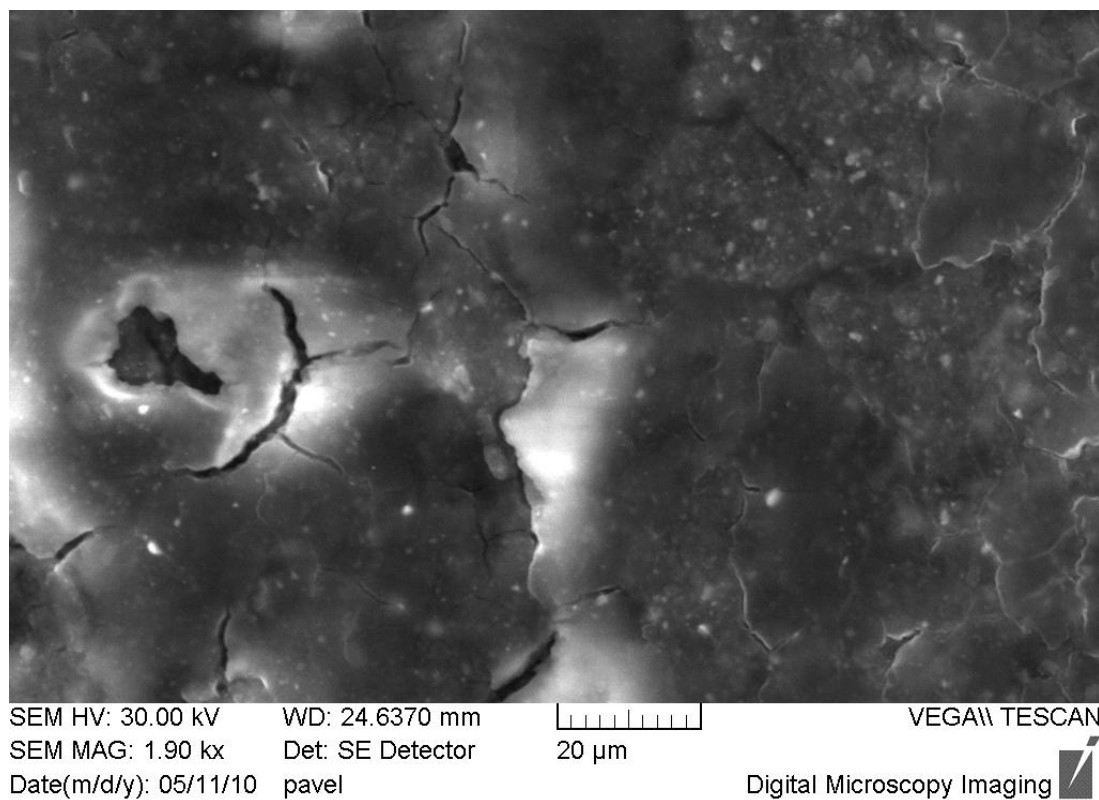
2) Výfuková dvojice (TRW C 028 a TEDOM 5 8 014 0525)



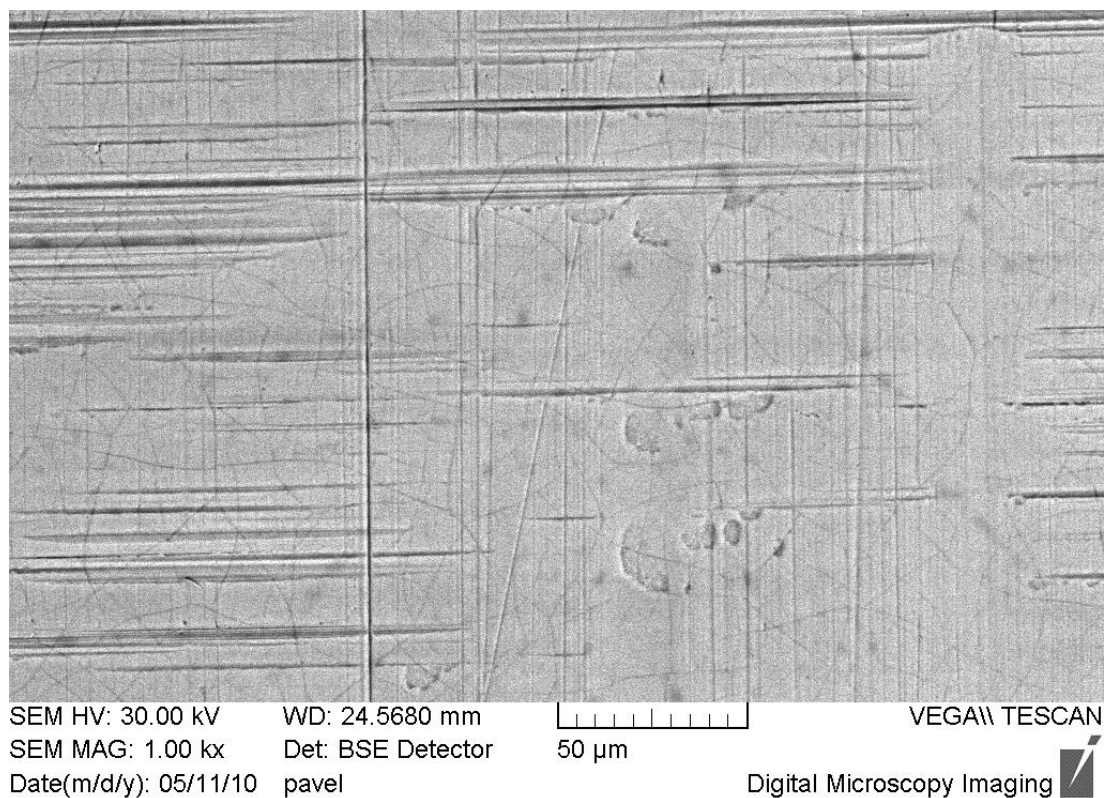
Obr. 2.29 Makro dříku (TRW C 028)



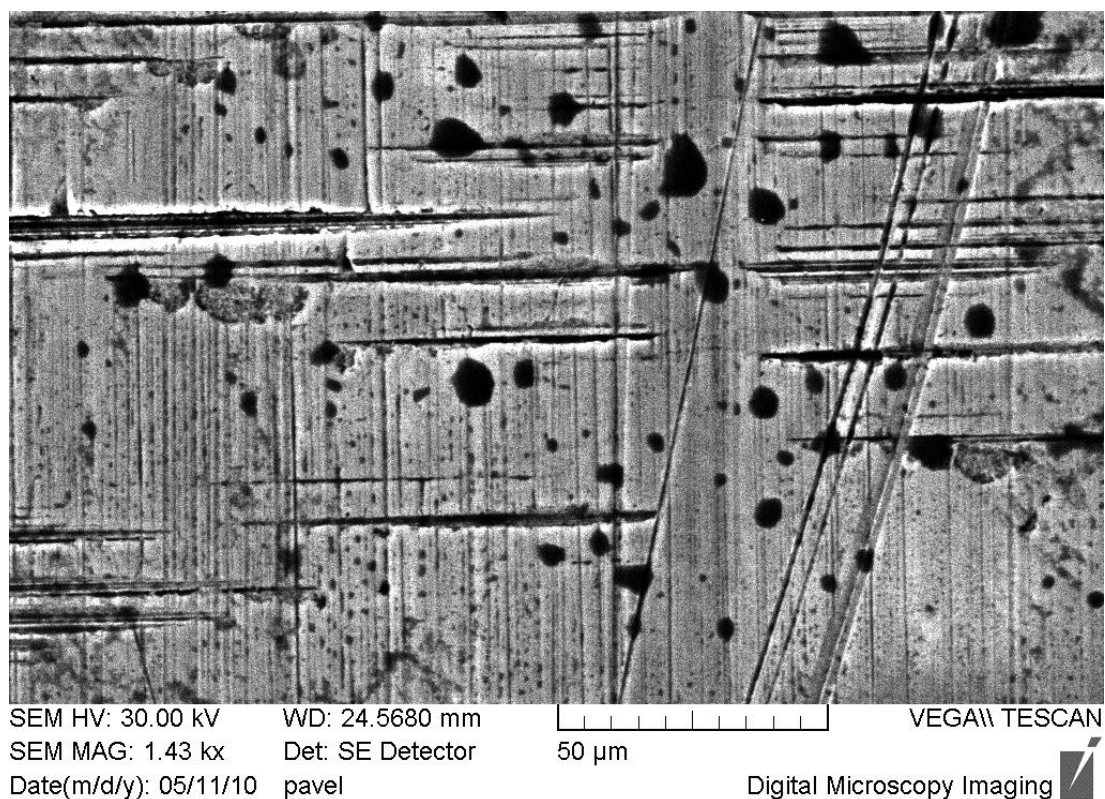
Obr 2.30. Povrch dříku blíže k sedlu ventilu (TRW C 028)



Obr 2.31. Povrch dříku blíže k sedlu ventilu (TRW C 028)



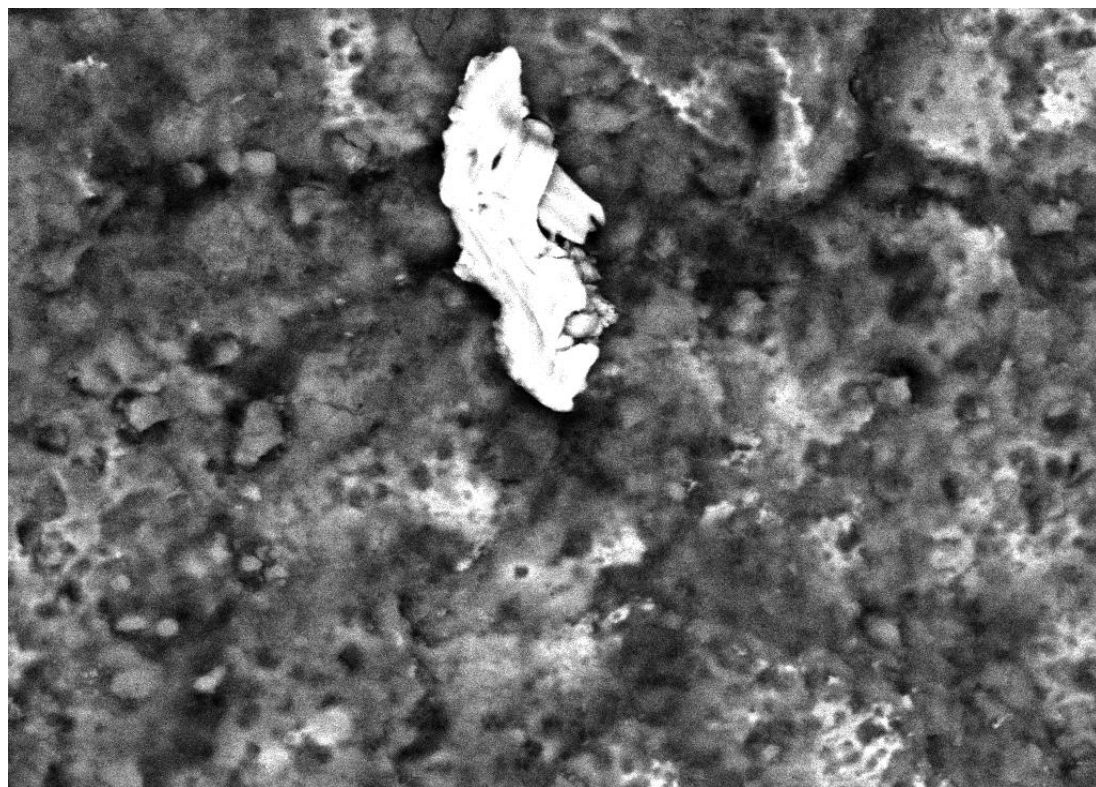
Obr. 2.32 Povrch dříku blíže ke stopce ventilu (TRW C 028)



Obr. 2.33 Povrch dříku blíže ke stopce ventilu (TRW C 028)

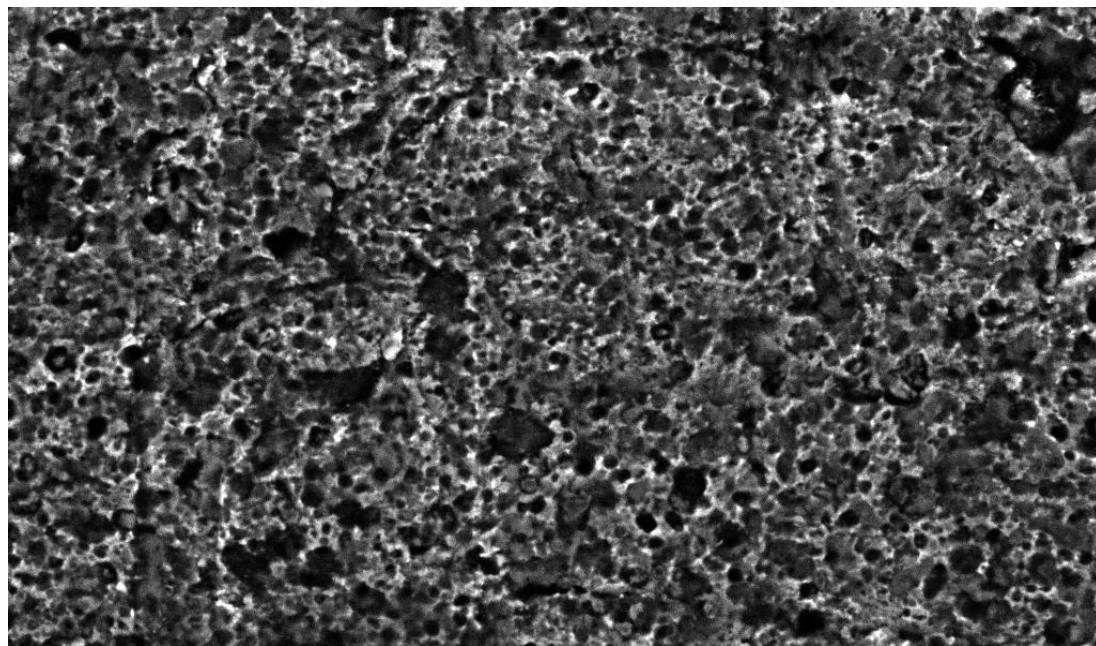
Výfukový dřík je tepelně přetížený. Na obr. 2.29 dochází k odlupování Cr. Na obr. 2.30 je zobrazeno abrazní a korozní opotřebení. Na obr. 2.31 je znázorněno

rozšiřování prasklin Cr a bodová koroze teplem v oblasti bez kluzného kontaktu. Na obr. 2.32 a 2.33 jsou vidět abrazní rýhy.



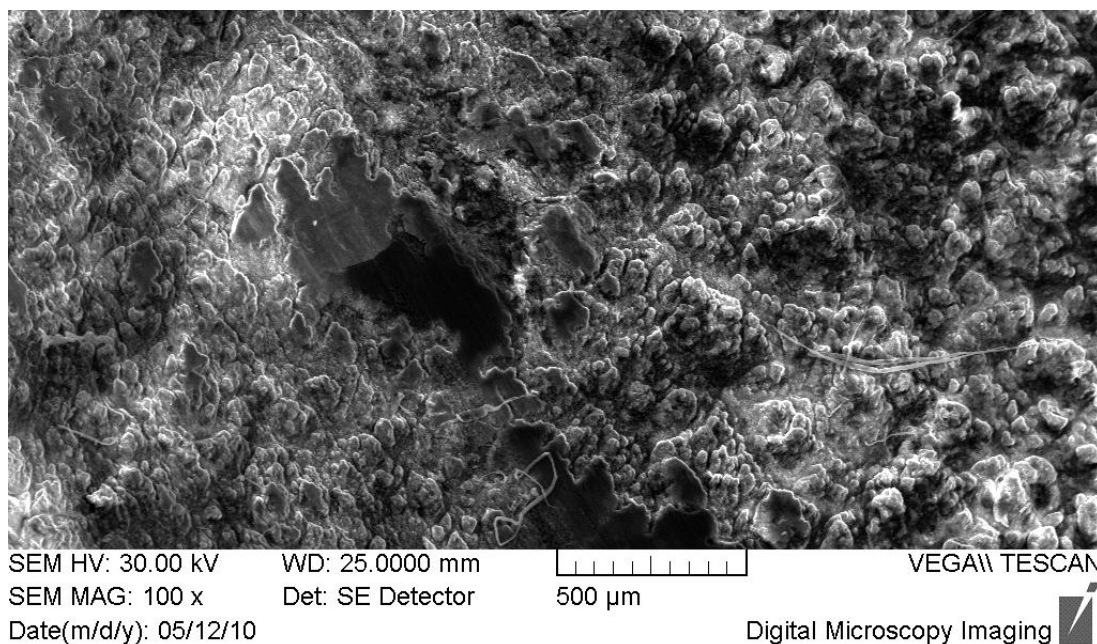
SEM HV: 30.00 kV WD: 23.0660 mm
SEM MAG: 1.87 kx Det: BSE Detector
Date(m/d/y): 05/07/10 pavel
VEGA\\ TESCAN
20 µm
Digital Microscopy Imaging

Obr. 2.34 Povrch vodička blíž k „studenému“ konci (TEDOM 5 8 014 0525)

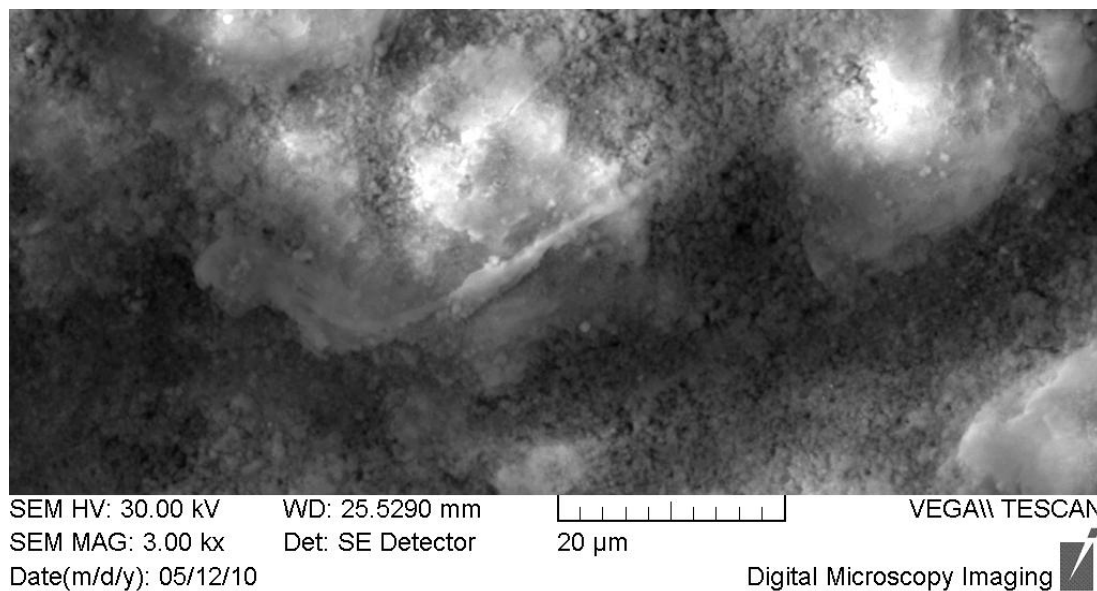


SEM HV: 30.00 kV WD: 23.2570 mm
SEM MAG: 1.21 kx Det: SE Detector
Date(m/d/y): 05/07/10 pavel
VEGA\\ TESCAN
50 µm
Digital Microscopy Imaging

Obr. 2.35 Povrch vodička blíž k „studenému“ konci (TEDOM 5 8 014 0525)



Obr. 2.36 Povrch vodička blíže k „teplému“ konci (TEDOM 5 8 014 0525)



Obr. 2.37 Povrch vodička blíže k „teplému“ konci (TEDOM 5 8 014 0525)

Na obr. 2.34 a 2.35 jsou produkty koroze a spalin, četné abrazní rýhy. Na obr. 2.36 teplotní koroze odstranila hmotu vodička, ojediněle se vyskytují kontaktní kluzné plochy. Na obr. 2.37 jsou korozní produkty a prach ze spalin.

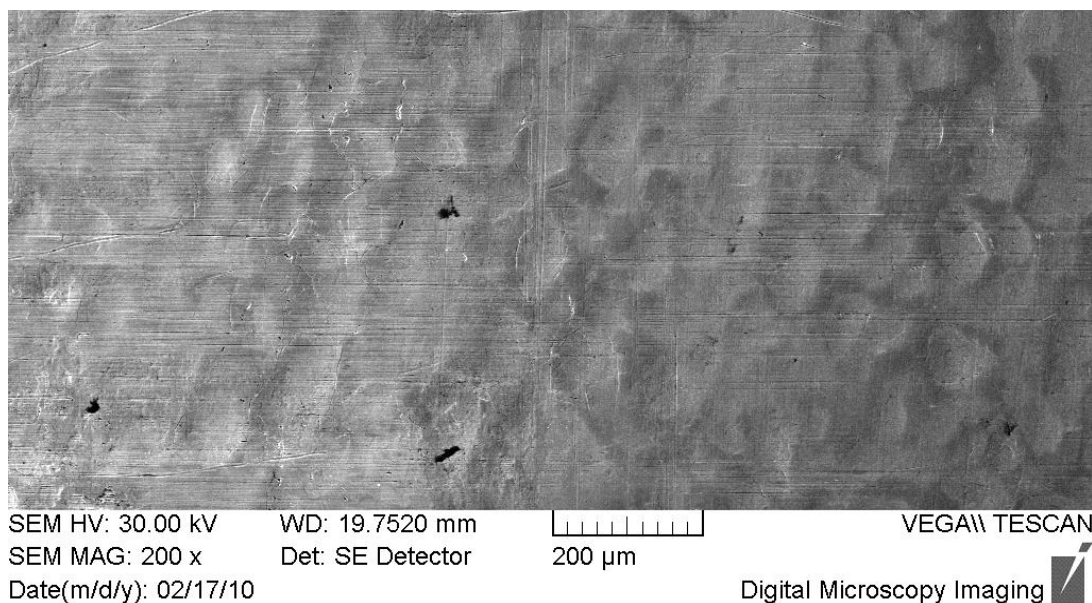
Stechio motory

Stechio motory jsou plynové motory, které jsou v dané kategorii nejvíce teplotně zatížené. Vyznačují se velmi nízkou výfukovou emisí, která je zabezpečena tříšložkovým katalyzátorem. Tříšložkový katalyzátor se nachází ve výfukovém systému motoru. Zvýšená je i teplota výfukových plynů.

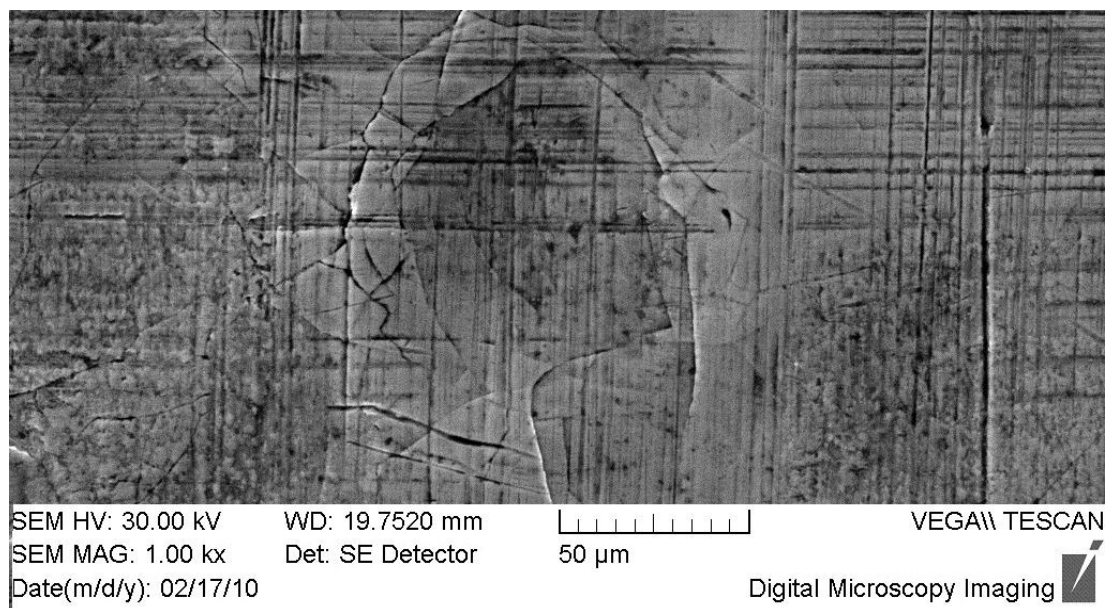
Na snímcích, představující zvětšení Cr vrstvy ventilových dříků, se pomocí řádkovací elektronové mikroskopie (sekundárních elektronů) vyskytla vrstva, která byla otláčená a popraskaná (obr. 2.38 až obr. 2.40). Lze usuzovat, že potlučení bylo způsobeno vlivem opotřebení abrazivních částic, to se projevuje formou důlků (dynamické účinky), případně rýh (obr. 2.38 a obr. 2.39). Částice mohla vniknout mezi Cr vrstvu dříku a vodítko nekvalitním těsněním. Na snímku (obr. 2.40) jsou vidět zřejmě natavené částice (musela by se udělat chemická analýza). Ty by se mohly natavit vlivem vysoké kluzné rychlosti pohybu mezi vodítkem a Cr vrstvou ventilového dříku. Vysoké teploty mohou také způsobit rozklad maziva a tím dochází k následnému natavování. Zvyšuje se difuze. Mohly se odtrhnout částice z vodítka a následně se natavit na Cr vrstvu. Také vůle mezi ventilem a vedením je velice důležitá. Jakmile se objeví nepovolená odchylka mezi třenými povrchy, je třeba vyměnit opotřebované komponenty.

Řešení:

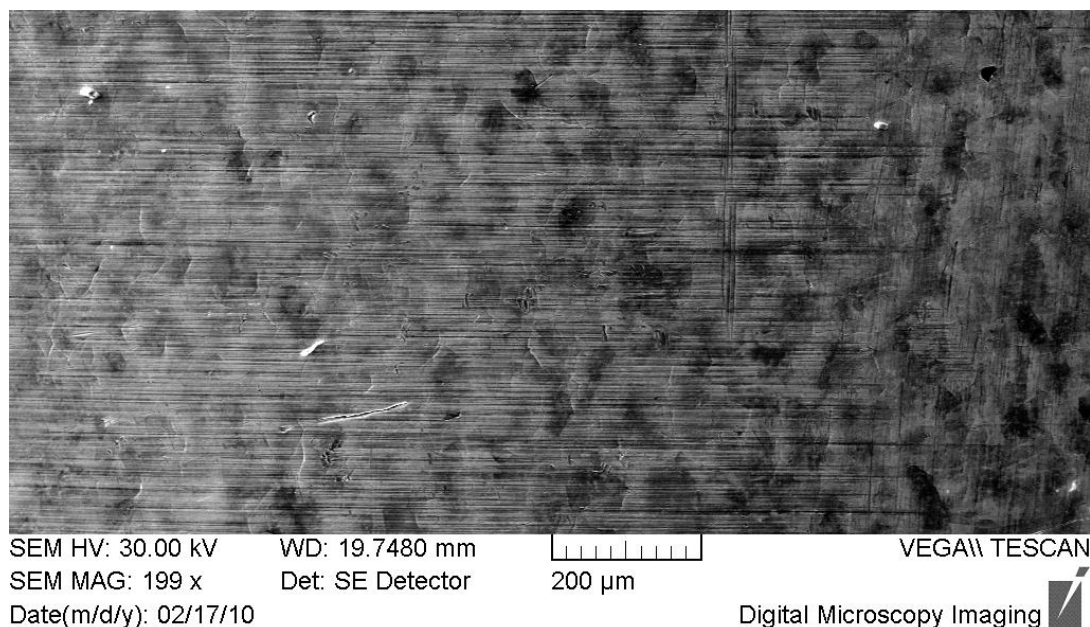
- 1) Tyto důlky a rýhy se dají odstranit např. RVS technologií, která je popsána v teoretické části. Kde vzniká tzv. ferosiliciová (kovokeramická) povrchová struktura na povrchu součástí. Tato struktura má pak mnohem nižší drsnost. Povrch se tak „vyhladí“.
- 2) Vhodná volba materiálu vodítka ve spojitosti s dříkem ventilu. Musí odolávat rázům, vysoké teplotě a mít dobré kluzné vlastnosti (velmi nízkou drsnost povrchu).



Obr. 2.38: Důlkatý „pomerančový“ povrch v Cr vrstvě (75566TB39)



Obr. 2.39: Praskání Cr vrstvy dynamickými účinky (75566TB39)



Obr. 2.40: Přichycení částic na Cr vrstvu (75566TB39)


2.6 Drsnost povrchu

Pro doplnění je zde uvedena drsnost důlkatého povrchu „Stechio“ ventilů (TRWT120 – výfukový ventil), která se nachází v příloze IX a drsnost „klasického“ ventilu adhezně pruhovaného (TRW C 028 – výfukový ventil) je v příloze X. Jde o rozhraní kluzného kontaktu a dřívku s Cr vrstvou na „horkém“ konci uložení. Drsnost u „Stechio“ ventilů je vyšší než u „klasického“ ventilu. To je zapříčiněno pravidelným důlkatým „pomerančovým“ povrchem.

2.7 Tvrdost dříků a vodítek podle Vickerse


Požadovaná tvrdost byla měřena na dvou místech vždy po třech měřeních s předzatížením (HV 30). Při zkoušce byl použit Tvrdoměr Vickers (diamantový pravidelný čtyřboký jehlan s vrcholovým úhlem 136° , který byl vtlačován do vzorku). Zkouška probíhala při teplotě cca 23°C , doba zatěžování 15 s. Následně byly změřeny úhlopříčky (pootočení o 90°) a podle toho byl stanoven aritmetický průměr. Z tabulek pak byla určena hodnota tvrdosti podle aritmetického průměru a požadovaného předzatížení. Požadované tvrdosti jsou v tab. 2.4 a tab. 2.5.

Tab. 2.4: Tvrdost dříku (výfukový ventil)

Tvrdost podle Vickerse			
výfuk. ventil (TRW C 028)	měření	pozice 1	pozice 2
	1.	398	400
	2.	396	409
	3.	402	406
	výsledná tvrdost HV	399	405

Pozice 1 (značení): 399 HV 30, Pozice 2 (značení): 405 HV 30

Tab. 2.5: Tvrdost dříku (sací ventil)

Tvrdost podle Vickerse			
sací ventil (TRW C 014/0504)	měření	pozice 1	pozice 2
	1.	502	373
	2.	520	379
	3.	499	366
	výsledná tvrdost HV	507	373


Pozice 1 (značení): 507 HV 30, Pozice 2 (značení): 373 HV 30

Sací ventil na pozici 1 má oproti výfukovému ventilu vyšší výslednou tvrdost. To je vysvětleno tím, že byl namáhán nižší teplotou (zpevnění povrchu). Vlivem vyšší teploty tvrdost klesá. Výsledná tvrdost na pozici 2 je v porovnání sacího a výfukového ventilu přibližně stejná.

Dřík ventilu u austenických ocelí má mít R_m **min. 1000MPa** ($R_m = 3,4 \times HV$). U výfukového ventilu je minimální $R_m = 1356 \text{ MPa}$ - **vyhovuje** a u sacího ventilu $R_m = 1268 \text{ MPa}$ - **vyhovuje**.

Dále byly změřeny tvrdosti vodítek. Postup při jejich měření byl stejný jako při měření dříků. Výsledné tvrdosti jsou zobrazeny v tab. 2.6.

Tab. 2.6: Tvrdost vodítek

<div style="text-align: center;"> Tvrdost podle Vickerse  </div>			
Vodítko	měření	pozice 1	pozice 2
Sací (TEDOM 5 9 013 0155)	1.	253	265
	2.	265	262
	3.	251	269
	výsledná tvrdost HV	256	265
Sací (TEDOM 5 9 013 0028)	1.	257	242
	2.	246	270
	3.	256	256
	výsledná tvrdost HV	253	256
Výfukové (TEDOM 5 8 014 0525)	1.	235	283
	2.	235	280
	3.	241	278
	výsledná tvrdost HV	237	280
Výfukové (TEDOM 6 8 014 0533)	1.	249	276
	2.	243	289
	3.	254	277
	výsledná tvrdost HV	249	281

Příklad značení: 256 HV 30

Vedení izotermicky kalené litiny má mít tvrdost **250 – 275 HV**, vodítko TEDOM 5 9 013 0155 tvrdost **vyhovuje**, TEDOM 5 9 013 0028 tvrdost **vyhovuje**, TEDOM 5 8 014 0525 tvrdost **nevyhovuje** a TEDOM 6 8 014 0533 tvrdost **nevyhovuje**. U výfukových vodítek se provozním vyhřátím popustil baint.

2.8 Stanovení hypotézy opotřebení

Pro stanovení hypotézy opotřebení (popis procesů znehodnocování vrstvy jednotlivými procesy opotřebení od výchozího stavu po jejich odstranění z povrchu opotřebením) jsou porovnány snímky z REM v této práci se snímky z příručky výrobce ventilů TRW (Valve failures and their causes).

Stanovení hypotézy opotřebení pro dvojici výfukové vodítko a dřík výfukového ventilu pro plynový motor (TRW C 028 a TEDOM 5 8 014 0525), která je silně opotřebovaná.

Popis destrukce jednotlivými procesy opotřebení (porovnání s literaturou)

1) Vodítko je příliš úzké nebo příliš široké

Z naměřených hodnot vnitřního průměru (asi o 1-2mm větší) opotřebovaného vodítka a požadovaných obrázků z této práce (porovnání s literaturou) **je vodítko příliš široké**, jeho průměr je oválný (kónický). Celkový tvar je do kužele. U „horkého“ konce je největší elipsa. Tudíž vůle mezi vodítkem a dříkem je velká.

Mechanismus: postupné rozšiřování mezery vlivem nesprávné vůle (až oválný průměr vodítka na „horkém konci“). To má za následek proniknutí nečistoty (spalin, tvoří se karbonové usazeniny) do této mezery, které se „připékají“ na povrch vodítka. Příliš velké množství oleje [20]. Na studeném konci jsou navléknuta stíratka přebytečného oleje, aby za studena při velké vůli nepronikal do spalování – to může mít fatální následky (ekologické). Dochází k propálení ventilu extrémním vývinem tepla (spalováním směsi paliva a oleje).

Řešení: kontrola dříků a vodítek, mazací soustavy a těsnění po určitém množství provozních hodin.



Obr. 2.41 Výfukový ventilový dřík - „připékání“ spalin k Cr povrchu [20]

Při porovnání obr. 2.6 a 2.41 (příručka TRW) je mechanismus opotřebení analogický.

2) Vychýlení – nesouosost

Mechanismus: jestliže dřík (sedlo ventilu) není v jedné ose, dochází ke stranovému posunutí (nesouosost) a tím vlivem velkého opotřebení až k únavě materiálu a následnému prasknutí [20]. Vlivem nesouososti také dochází k tlaku a tím k vytrhávání a přemísťování částic (lokální svary).



Řešení: Pravidelná kontrola souososti mezi dříkem ventilu a vodítkem.

Obr. 2.42 Prasknutí vodítka vlivem velké nesouososti [20]

Při porovnání obr. 2.19 a 2.42 je mechanismus opotřebení částečně analogický, z toho lze usuzovat, že nesouosost nebyla kritická, aby došlo k prasknutí.

3) Vliv paliva a maziva

Mechanismus: Síra (z paliva), která se dostane do maziva, také způsobuje poškození [20]. Postupně rozšiřující teplotní koroze nahrazuje původní povrch. Bioplyny ze skládek (Březinka) kromě síry obsahují i vodu, za vysokých teplot vzniká H_2SO_4 . Mnohonásobně se tak urychluje teplotní koroze Cr vrstvy i vedení.

Řešení: Snížení obsahu S, např. v bionaftě je méně síry než v motorové naftě (omezení koroze). V případě bioplynu sušit (odvodňovat) plyn. Vedení z neželezných slitin odolných k S.



Obr. 2.43 Rozšiřování tepelné koroze [20]

Při porovnání obr. 2.36 a 2.43 (příručka TRW) je mechanismus opotřebení analogický.

4) Ventil se neotáčí

Mechanismus: Běžně by se měl ventil otáčet za chodu motoru. Poruchy ventilového rozvodu můžou zabránit otáčení, sedlo ventilu se pak nezahřívá rovnoměrně [20]. Otáčení (pomocí klímků, vyosení vahadla od osy ventilového dříku) způsobuje rovnoměrné opotřebení ve vodítku a v sedle ventilu během chodu motoru. Zbavení karbonových usazenin. Jakmile je tento aspekt porušen, dochází postupně až k výraznému opotřebení. Muže se i lokálně propálit sedlo.

Řešení: Karbonové usazeniny zanáší drážky ventilu, které se zalepí. Použití vhodného oleje.



Obr. 2.44 Propálení sedla vlivem neotáčení ventilu [20]

Při porovnání obr. 2.19 a 2.44 (příručka TRW) je mechanismus opotřebení odlišný. Ventil se otáčel (kruhové stopy na konci).

5) Chybná Cr vrstva

Mechanismus: Při nekvalitním odmaštění povrchu pro nanášení vrstvy tvrdochromu dochází k „loupání“ (praskání) Cr vrstvy. Rozpraskání povrchu Cr vrstvy následuje po krátké době chodu motoru [20]. Následuje postupné „odlupování“ Cr vrstvy. Dle zkoumání v této práci praskliny v Cr vrstvě jsou průvodním jevem na všech provozovaných i nových ventilech. Obr. 2.31 potvrzuje, že na něm startuje rozvoj makroprasklin a bodové koroze za tepla (posléze odlupování).



Řešení: dokonale odmastit povrch pomocí přípravků na odmaštění. Aplikace technologie vylučování vrstvy Cr bez prasklin.

Obr. 2.45 Praskání Cr vrstvy [20]

Při porovnání obr. 2.31 a 2.45 (příručka TRW) je mechanismus opotřebení analogický. Není tak výrazný, ale dochází k rozšiřování prasklin Cr.

6) Zlomení dříku či ulomení dříku u hlavy ventilu

Mechanismus: vlivem nadměrného přetěžování a velkých dynamických účinků dochází k destrukci dříku.

Řešení: pravidelná kontrola souososti mezi dříkem a vodítkem, jinak dochází k velkým tlakům, kontrola vodítek, ventilu a pružin (dovolené vůle atd.).

Žádný snímek nepopisuje tento mezní stav.

Při porovnání výše uvedených případů mechanismu opotřebení s příručkou TRW je několik druhů opotřebení zcela analogických. Z těchto důvodů byla použita dvojice vyřazena z provozu (teplotní přetížení, vysoké opotřebení).

ZÁVĚR

Tato práce popisuje různé druhy mechanismů opotřebení, které mohou nastat v případě dvojice ventilový dřík a vodítko. Z naměřených hodnot, ze vzorků získaných pomocí REM a porovnání pomocí hypotézy byly zjištěny následující poznatky.

Za nejzávažnější vady z hlediska opotřebení dvojice ventilový dřík a vodítko lze považovat nesouosost, příliš úzká nebo příliš široká vodítka, vliv paliva a maziva během spalovacího procesu, chybějící Cr vrstva ventilového dříku, jestliže se ventil neotáčí, zlomení dříku či ulomení hlavy ventilu. Všechny tyto vady vedou k postupné degradaci třecí dvojice.

Na zkoumaných vzorcích se vyskytl především abrazní, adhezní a korozní mechanismus opotřebení. Dále docházelo k odlupování Cr vrstvy a rožšířování Cr prasklin. U výfukového dříku „Stechio“ motoru je vidět „pomerančový“ povrch. Pravidelné důlky byly zřejmě způsobené dynamickými účinky. Cr vrstva sacích ventilů a vedení se při správném nastavení rozvodu prakticky neopotřebovávají ani u paliva agresivního bioplynu. Dominantní vliv na životnost výfukových vedení má teplota, degradace maziva, koroze za tepla, abraze – produkty degradace a spalin.

Požadovaná tvrdost, která byla naměřená na sacích vodítkách (TEDOM 5 9 013 0155 a TEDOM 5 9 013 0028) vyhovuje a na výfukových (TEDOM 5 8 014 0525 a TEDOM 6 8 014 0533) tvrdost nevyhovuje. U sacího ventilu (TRW C 014/0504) a výfukového ventilu (TRW C 028) tvrdost vyhovuje. Drsnost u „Stechio“ ventilů je vyšší než u „klasického“ ventilu. To je zapříčiněno pravidelným důlkatým „pomerančovým“ povrchem.

Pro snížení tření a opotřebení mezi funkční dvojicí je nutné zvolit vhodnou volbu třeného a třecího materiálu. Mazivo, kluzná rychlost, velikost stykového povrchu či tepelná vodivost a teplota jsou pro vliv opotřebení velice důležité. Důležitou roli z hlediska adhezního opotřebení hraje vzájemná rozpustnost v tuhém stavu, krystalová struktura, mez kluzu v tlaku a tvrdost. Vysoká drsnost povrchu má negativní vliv na opotřebení Cr vrstvy dříku či vodítka. Dobré těsnění a obecně jakost povrchu přispívá k vyšší životnosti dané dvojice.

Pro zamezení případných defektů, je třeba pravidelně kontrolovat po určitém množství provozních hodin vodítko, dřík, těsnění, pružiny, souosost a dovolené vůle

mezi ventilem a dříkem a také mazivo. Nesmí se připustit meznímu tření mezi vodítkem a chromovou stopkou.

Vhodnou volbou pro snížení tření a s ním spojené opotřebení na minimum, je použití RVS technologie, či využití vhodných mazadel jako např. SLICK 50. U plynových motorů je možné chránit ventily mazivem Flashlube Valve Saver, který obsahuje složky nahrazující olovo.

Materiál vodítka i ventilu by měl odolávat vysokým teplotám, tepelné korozi, abraznímu a adheznímu opotřebení a rázům. V případě eliminování rázů, je možnost pro teplotně namáhaný výfukový dřík použít Nitrid křemíku – Si_3N_4 , který vyniká korozní odolností, je žárovevný i žáruvzdorný, případně Sialon ($\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-AlN}$) nebo částečně stabilizovaný ZrO_2 .

Z důvodů neustále se zvyšujících nároků na jednotlivé součásti je neustálý vývoj materiálu ventilů a vodítek, které by odolávaly větším tlakům, rázům a rychlosti vzájemného pohybu kluzné dvojice zcela nezbytný. Například vhodnou technologií a kombinací legujících prvků lze odlít slitinu, která by vyhovovala takto vysokým nárokům. Také se nabízí použít alternativní palivo, které by méně poškozovalo třecí dvojici vlivem síry.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

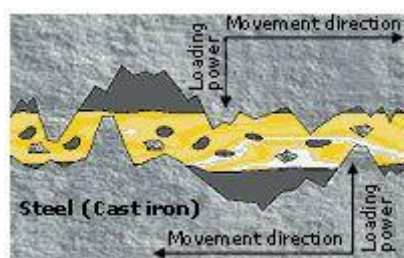
- [1] KOLEKTIV AUTORŮ. *Provozní degradace austenitických ventilových ocelí : sborník semináře se zahraniční účastí : 9. října 2006, Liberec*. Vyd. 1. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2006. 111 s. ISBN 8073721139.
- [2] VOCEL, M.; DUFEK, V. et al. *Tření a opotřebení strojních součástí*. Vyd. 1. Praha : SNTL, 1976. 374 s.
- [3] BOHÁČEK, F. et al. *Části a mechanismy strojů II : Hřídele, tribologie, ložiska*. Brno : VUT, 1983. 214 s.
- [4] BEČKA, J. *Tribologie*. Vyd. 1. Praha : ČVUT, 1997. 212 s. ISBN 8001016218.
- [5] STACHOWIAK, W. G.; BATCHELOR, W. A. *Engineering Tribology* [online]. [s.l.] : [s.n.], [1995] [cit. 2010-03-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.scribd.com/doc/19801747/ENGINEERING-TRIBOLOGY>>.
- [6] PTÁČEK, L. *Nauka o materiálu II.* Brno : CERM, 1999. 350 s. ISBN 8072041304.
- [7] SKRBK, B. *Materiály pro konstrukční aplikace*. Vyd. 1. Liberec : Technická univerzita, 2003. 60 s. ISBN 8070836636.
- [8] RUML, V.; SOUKUP, M. *Galvanické pokovování*. Praha : SNTL, 1981. 324 s.
- [9] Výměna ventilů, vodítek a vložek sedel ventilů. In *Návod pro instalaci*. [s.l.] : [s.n.], [2009] [cit. 2010-03-04]. Dostupné z WWW: <http://www.cesomot.cz/doc_cz/AE_pokyny_pro_vymenu_ventilu_voditek_a_vlozek_sedel_ventilu.pdf>.
- [10] Povrchové úpravy a renovace technologiemi RVS. *Technologie pro povrchové úpravy* [online]. 2005, 4, [cit. 2010-03-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/povrchove-upravy-a-renovace-technologie-mi-rvs>>.
- [11] *RVS SPEED* [online]. 2009 [cit. 2010-03-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.rvsspeed.cz/rvs-technology/>>.
- [12] *RVS Technology* [online]. c2007 [cit. 2010-03-06]. Function. Dostupné z WWW: <<http://www.rvs-tec.com/English/function.htm>>.

- [13] *RVS Technology* [online]. c2007 [cit. 2010-03-08]. Tests. Dostupné z WWW: <<http://www.rvs-tec.com/English/test.htm>>.
- [14] *ČESOMOT s.r.o.* [online]. [2009] [cit. 2010-03-11]. Ochrana motorů SLICK 50. Dostupné z WWW: <<http://www.cesomot.cz/ochrana-motoru.php>>.
- [15] Komponenty ventilového rozvodu. In *Úplný výrobní program ventilových rozvodů pro trh náhradních dílů*. [s.l.] : [s.n.], [2009] [cit. 2010-03-15]. Dostupné z WWW: <http://www.cesomot.cz/doc_cz/AE-vyrobní-program-ventilovych-rozvodu.pdf>.
- [16] PTÁČEK, L. *Nauka o materiálu*. I., opr. a rozš. vyd. Brno : CERM, 2003. 516 s. ISBN 8072042831.
- [17] BARTL, D. O.; MUDROCH, O. *TECHNOLOGIE chemických a elektrochemických povrchových úprav*. Praha : SNTL, 1957.
- [18] DOŠKÁŘ, J. *Základy galvanotechniky*. Praha : SNTL, 1953. 284 s.
- [19] SKRBEK, B. *Kvalita litiny vodítek ventilů*. Interní zpráva LIAZ č. 010993, 1993.
- [20] TRW Thompson, Barsinghausen. *Valve failures and their causes : Practical experience valve failure research*. 1990.
- [21] SKRBEK, B. *Identifikace materiálu vzorku vedení ventilu*. Interní zpráva firmy TEDOM s.r.o., Jablonec n. N., č. 86-31-13.
- [22] TEDOM s.r.o., Jablonec n. N. *Důvěrný materiál – zákaz dalšího šíření*. 2010.

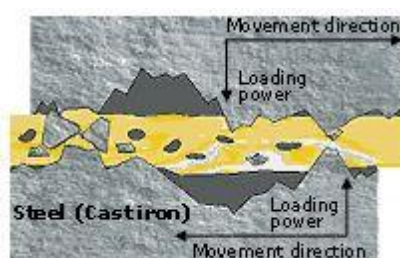
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I - Princip metody RVS [12]	62
Příloha II - Průběh RVS technologie [13]	63
Příloha III – Části ventilového rozvodu [15]	64
Příloha IV - Ventilový rozvod [1]	65
Příloha V - Vedení ventilu 1[22]	66
Příloha VI - Vedení ventilu 2 [22]	67
Příloha VII - Vedení ventilu 3 [22]	68
Příloha VIII – Schéma řádkovacího elektronového mikroskopu [16]	69
Příloha IX – Drsnost povrchu „stechio“ ventilů (TRWT120) [22]	70
Příloha X – Drsnost „klasického“ výfukového ventilu (TRW C 028) [22]	72

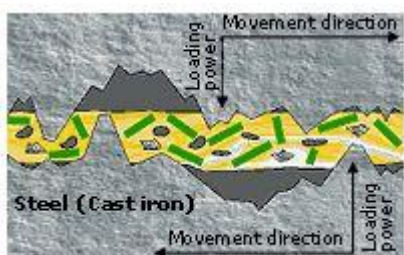
Příloha I - Princip metody RVS [12]



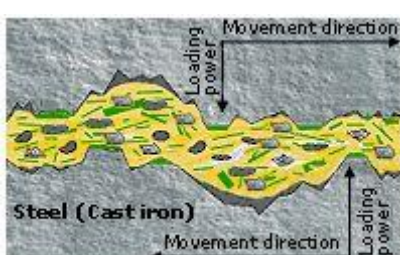
1



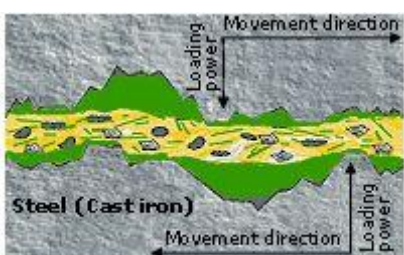
2



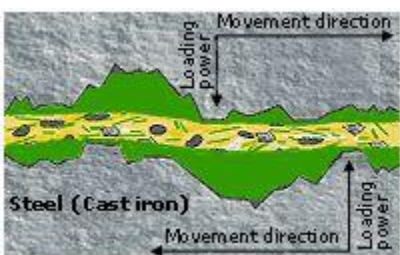
3



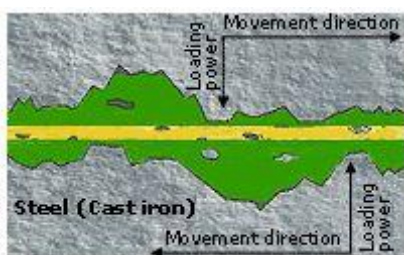
4







5



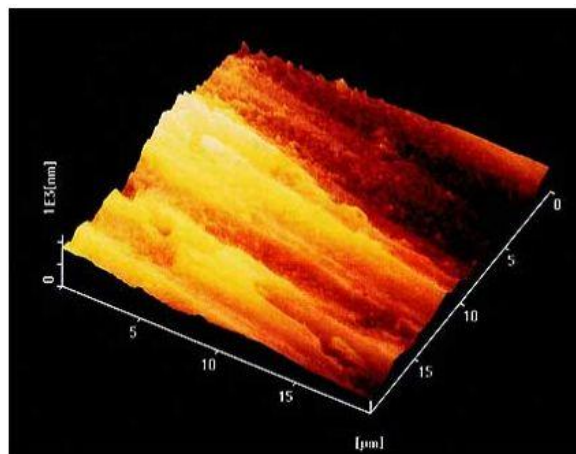
6



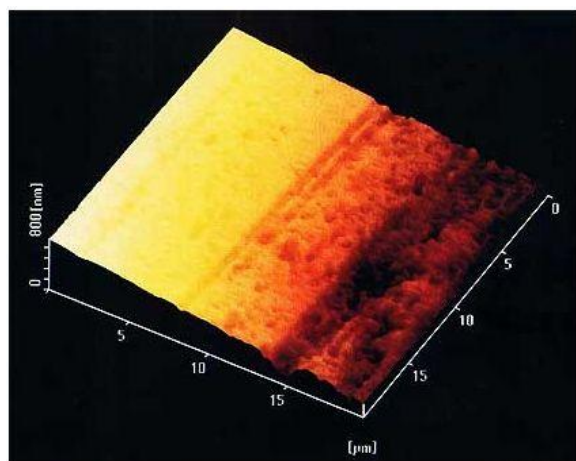
7

-  - dirt
-  - lubricant
-  - metal particle
-  - RVS compound particle

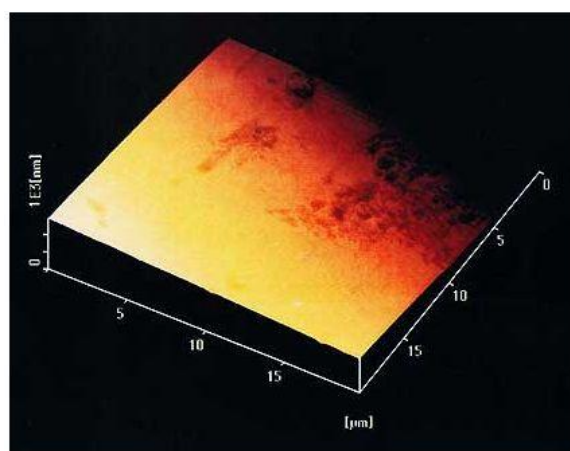
Příloha II - Průběh RVS technologie [13]



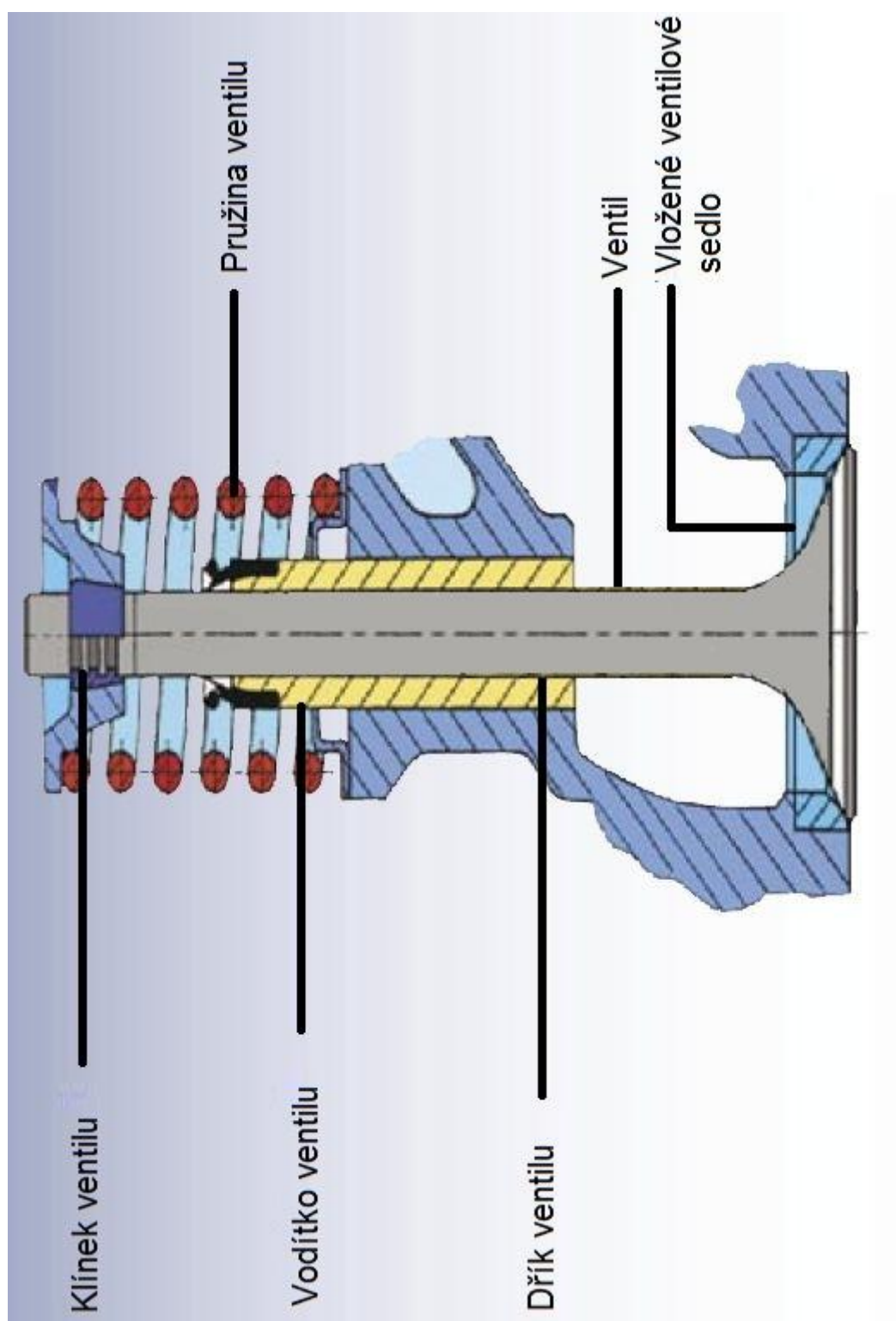
Povrch ocele před RVS



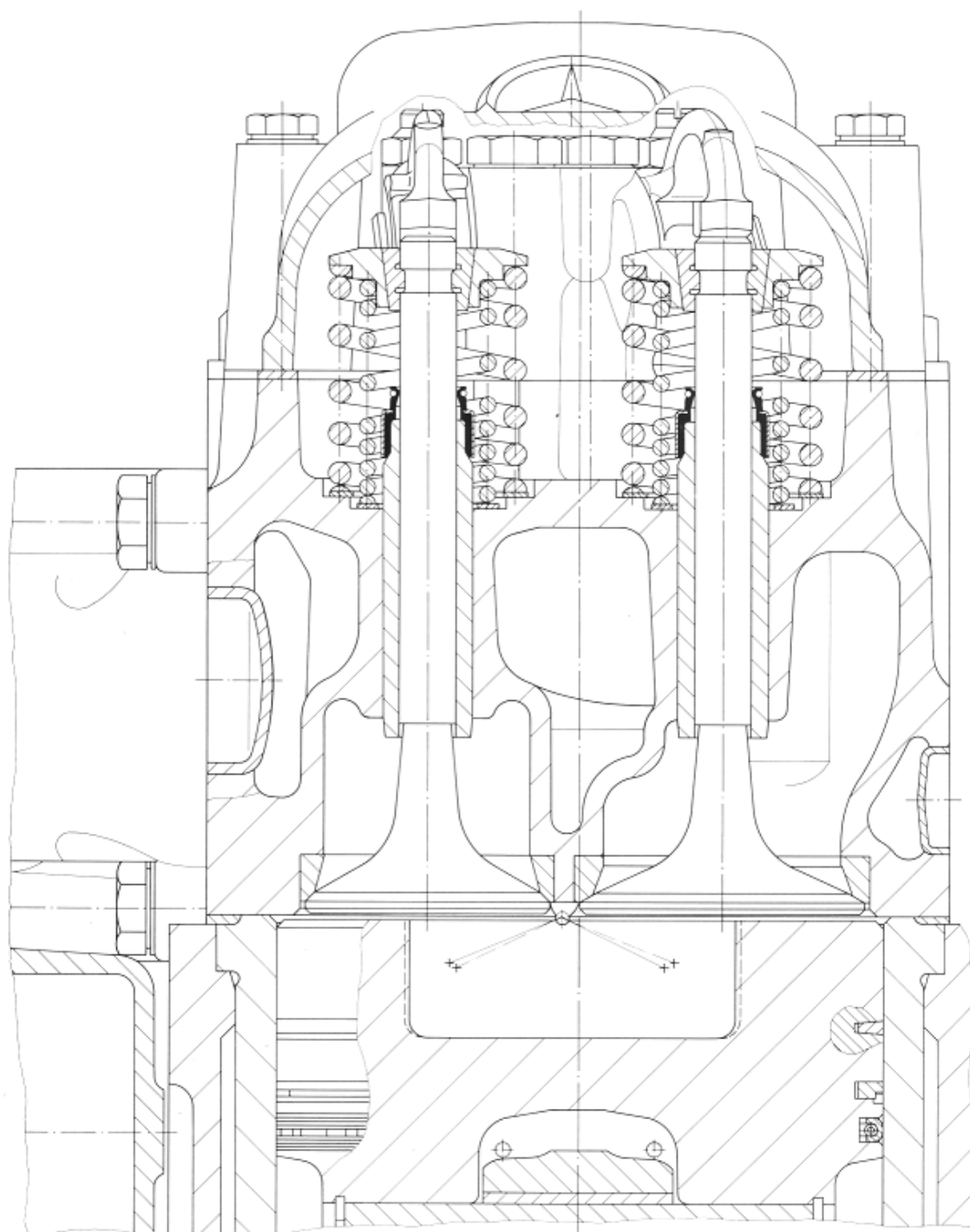
Povrch ocele v průběhu RVS



Povrch ocele po aplikaci RVS

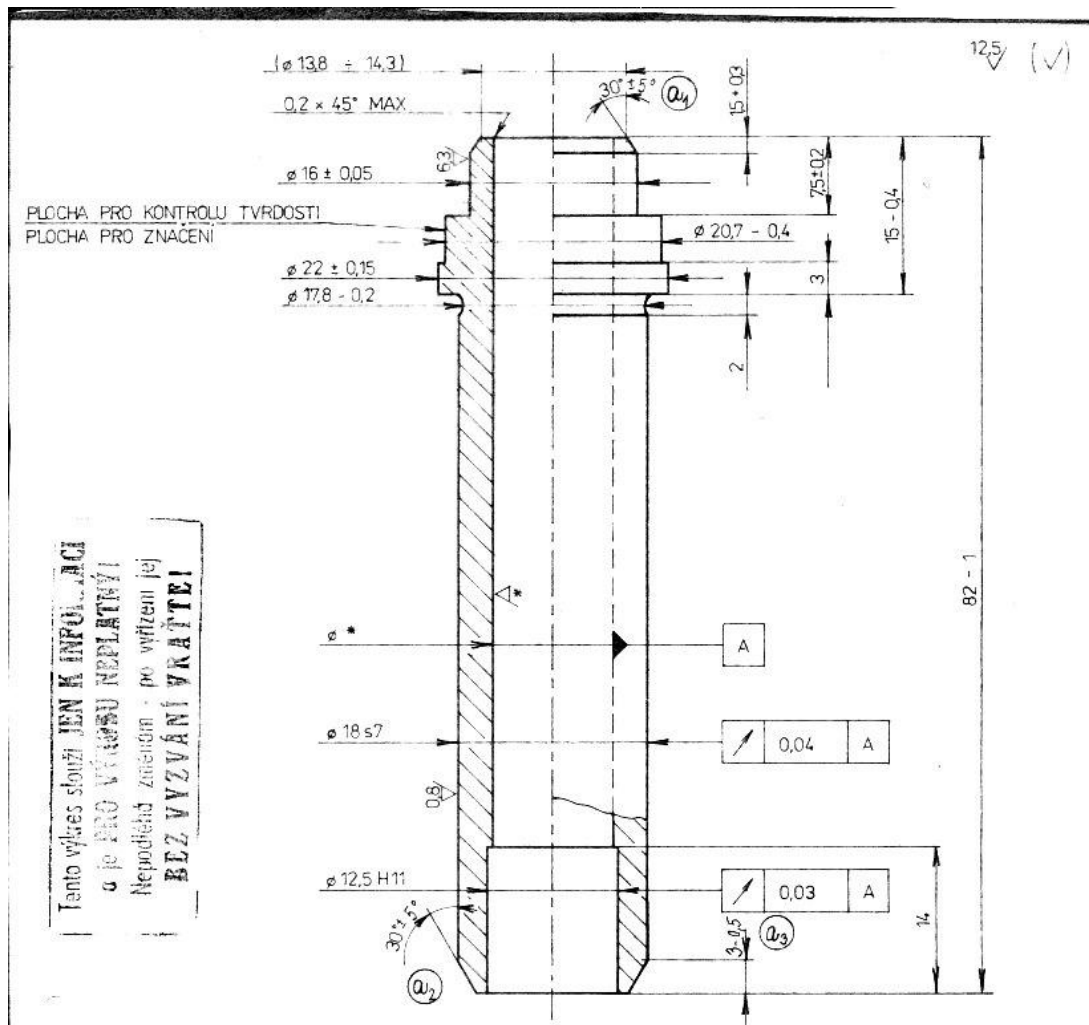


Příloha IV - Ventilový rozvod [1]



Příloha V - Vedení ventilu 1[22]

(Výkres poskytnutý firmou TEDOM s.r.o. jako důvěrný materiál – zákaz dalšího šíření.)



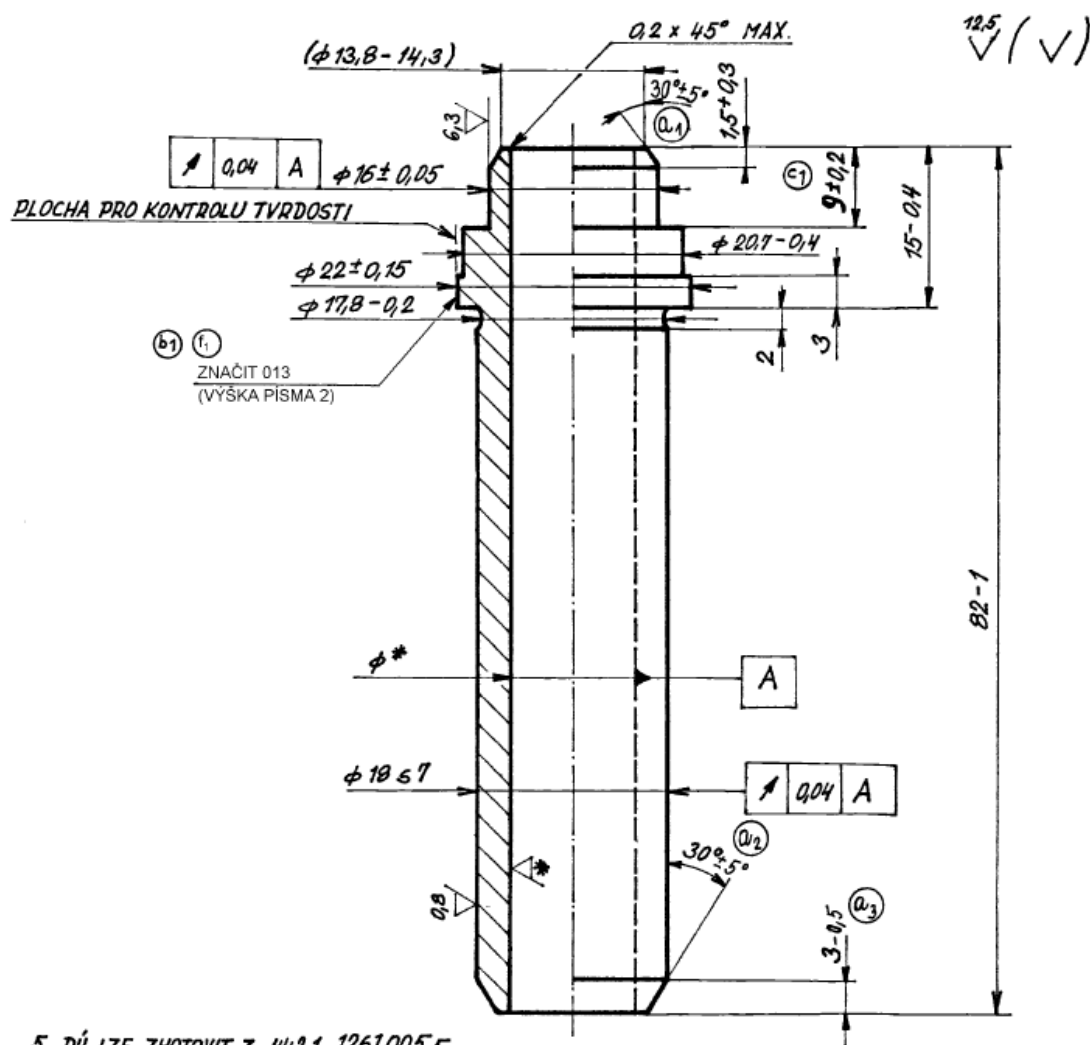
5. DÍL LZE ZHOTOVIT Z 44211261 005 5
4. * ϕ A Ra DLE TECHNOLOG. POSTUPU, DÍRA SE DOKONČUJE V č.v.1 7031 186NA ϕ 12H7 Ra=0,8
3. TVRDOST HB 190-240
2. VODÍTKO DLE ONA 30 2207
1. PŘESNOST DLE ČSN 01 4470.4

- 9. července 1996

INDEX	ZMĚNA	DATA	PODPIS	LIAZ	
5x	01-06/12/95	25.4.96	filasore		
MATERIÁL 42 2425		TRÍDA ODPAHU 212	HMOTNOST (ČISTÁ) KG 0,090		MĚŘÍTKO 2:1
POLOTOVAR M 1838			ČÍSLO SESTAVY 7031 186		POZICE 5
NORMA			STARÝ VÝKRES		
KRESLIL Ing. HAVLÍN	NORMALIZACE KOHLIKOVA		TYP M 1.2C		SKUPINA 1/23
PREZKOUSEL	SCHVÁLIL Ing. DYTRICH				
TECHNOLOG ONE 30.10.1991					
NÁZEV VEDENÍ VENTILU		442 1 1261 014 5		LST	
		POČET LSTV			

Příloha VI - Vedení ventilu 2 [22]

(Výkres poskytnutý firmou TEDOM s.r.o. jako důvěrný materiál – zákaz dalšího šíření.)

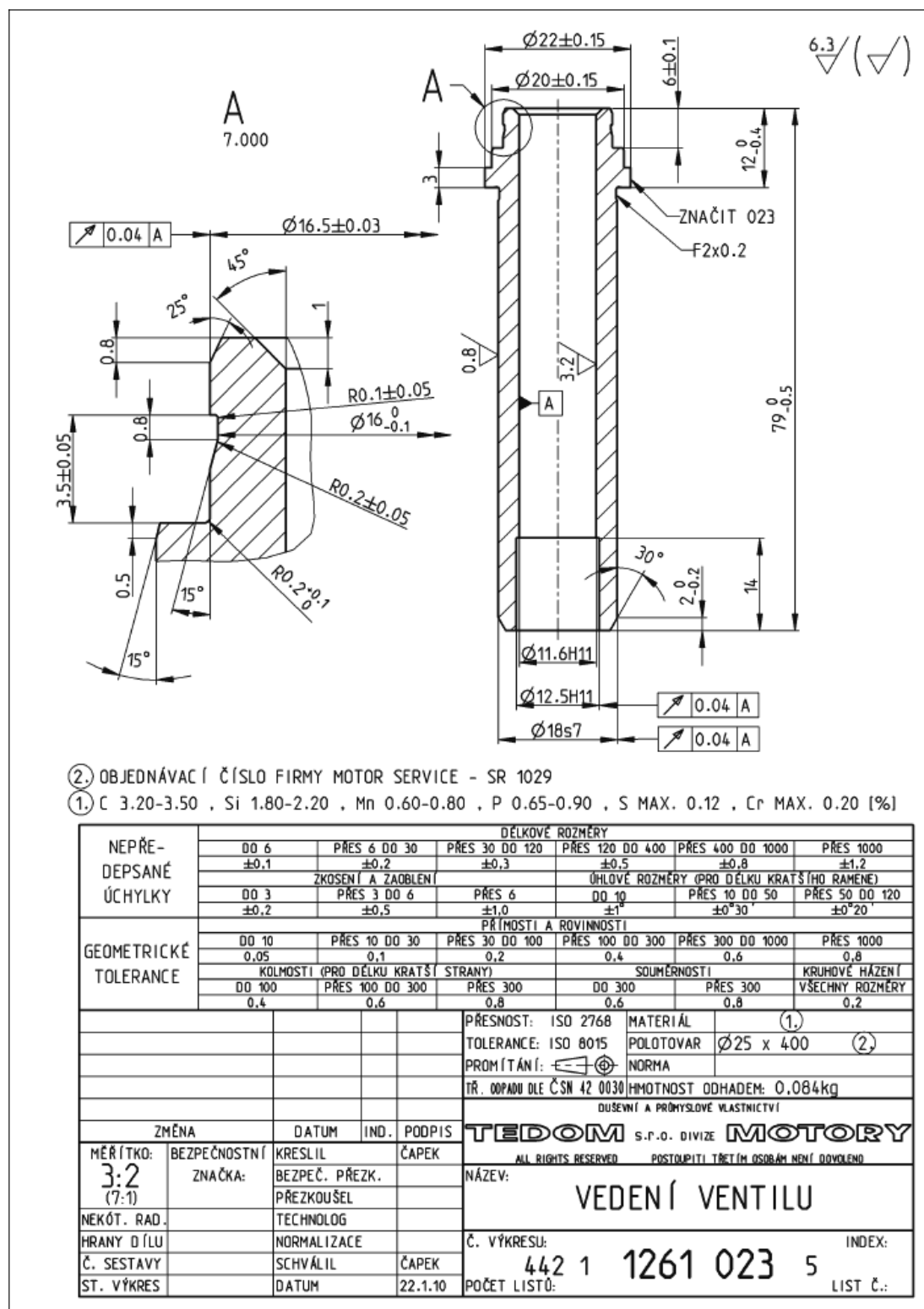


5. DÍL LZE ZHOTOVIT Z 4421 12610055
4. * $\phi A Ra$ DLE TECHNOLOG. POSTUPU, DÍŘA SE DOKONČUJE V Č.Y. 1-7031-186, NA $\phi 12 H7 Ra 0,8$
3. IZOTERMICKY KALIT DLE TECHNOLOGICKÉ NÁVODKY NA TVRDOT 250 - 275 HB
2. VODÍTKO DLE ONA 302207
1. PŘESNOST DLE ČSN 014470.4

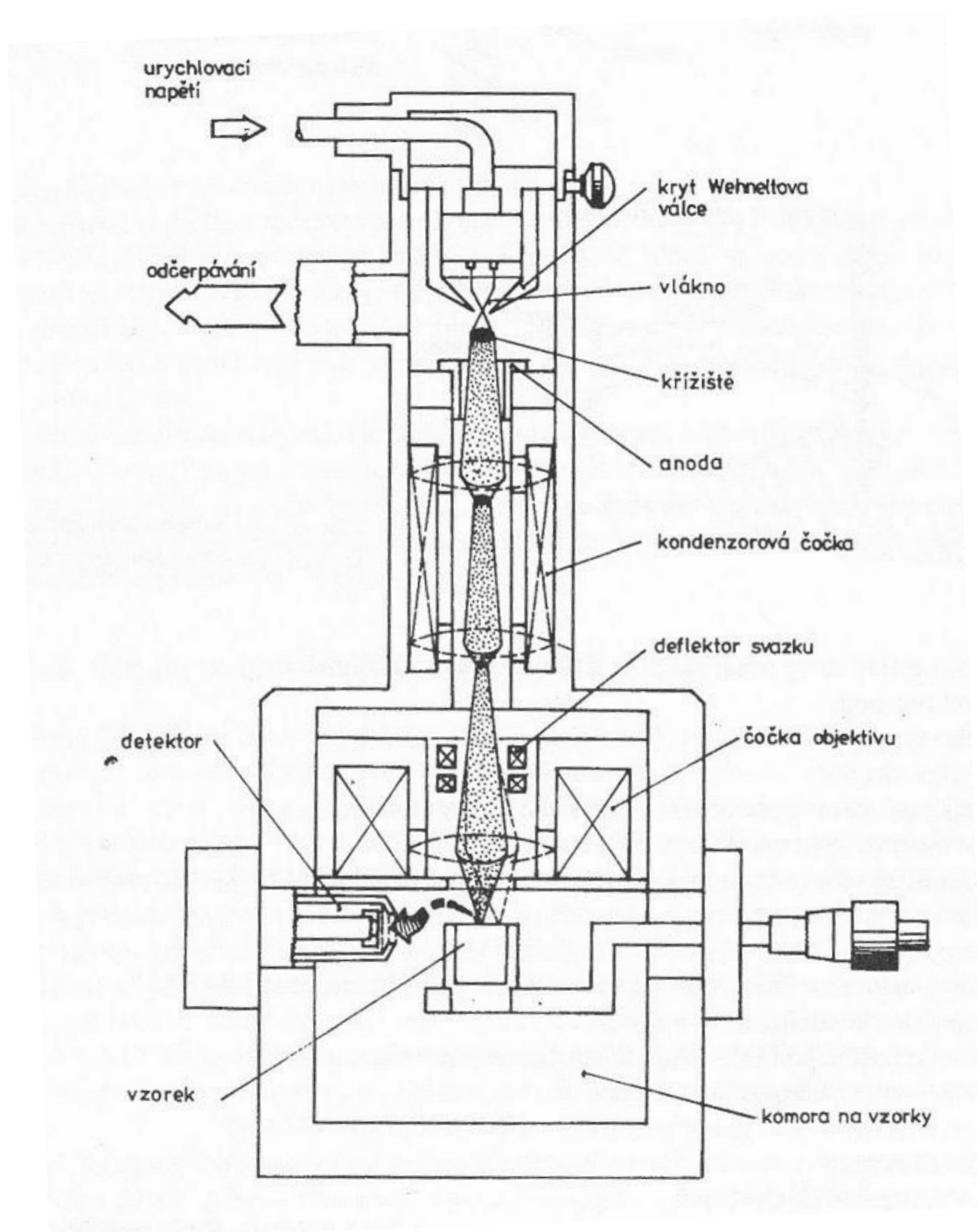
Material	42 2420 (E1)	4	1-7031-186						
Posice	212	0,093							
Polotovár	M 1838								
Měřítko	2:1								
Kreslil	HÜBNEROVÁ	HÜBNEROVÁ							
Proj. inž.	KLÁUS	KLÁUS							
Výk. pro. a. d.									
Č. v. l.	15.3.1991								
Typ	M 1-2 C	Skupina	MOTOR						
Název	VEDENÍ VENTILU								
Starý výkres	61-2-5571	ze dne	29.4.1986						
Číslo	442 1 1261 013 5								
Počet listů									

Příloha VII - Vedení ventilu 3 [22]

(Výkres poskytnutý firmou TEDOM s.r.o. jako důvěrný materiál – zákaz dalšího šíření.)



Příloha VIII – Schéma řádkovacího elektronového mikroskopu [16]




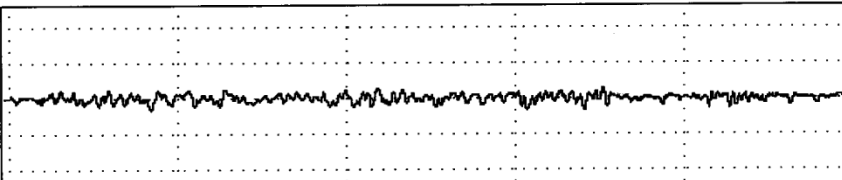
Příloha IX – Drsnost povrchu „stechio“ ventilů (TRWT120) [22]

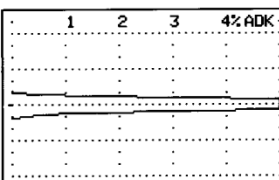
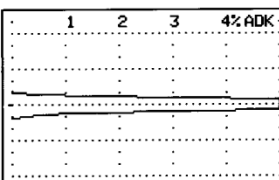
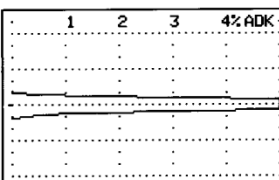
ST₁

perthometer S8P 6.22

1284/A224/1N/09

		TEDOM S.R.O. DIVIZE MOTORY JABLONEC NAD NISOU BELGICKA 400	OBJEKT: NR.: NAME:
LT 17.50 MM LM 12.50 MM UB 625.0 YM	KMS J07-ORJ PERTHEN S8P	MESS.-NR.: 4 T7 RFHTB-250 250 20	


				
R	LC	GS 2.500 MM	VER 5.000 YM	HOR 2.500 MM

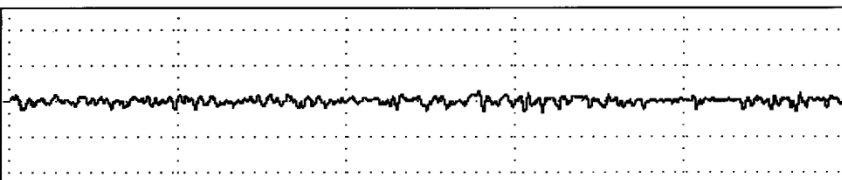
LC GS 2.500 MM >RMAX 3.1 YM RZ 2.7 YM RP 1.2 YM RA 0.4 YM RT 3.3 YM PT 3.3 YM WT 0.4 YM	LC GS 2.500 MM R TP(0.0 5) 0 % R TP(0.0 5) 5 % R TP(-1.0 5) 69 % R TP(-2.0 5) 99 % R TP(-3.0 5) 100 %	<table border="1"> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4%ADK</th> </tr> <tr> <td colspan="4">  </td> </tr> </table>	1	2	3	4%ADK				
1	2	3	4%ADK							
										
R GS 2.500 VER 5.000 YM										

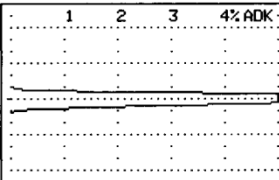
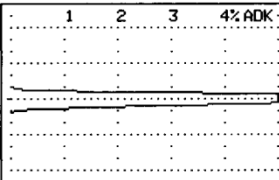
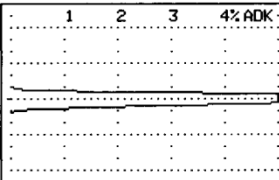
ST₂

perthometer S8P 6.22

1284/A224/1N/09

		TEDOM S.R.O. DIVIZE MOTORY JABLONEC NAD NISOU BELGICKA 400	OBJEKT: NR.: NAME:
LT 17.50 MM LM 12.50 MM UB 625.0 YM	KMS J07-ORJ PERTHEN S8P	MESS.-NR.: 5 T7 RFHTB-250 250 20	


				
R	LC	GS 2.500 MM	VER 5.000 YM	HOR 2.500 MM

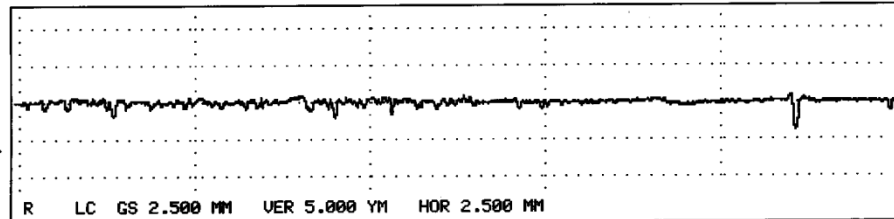
LC GS 2.500 MM >RMAX 2.9 YM RZ 2.6 YM RP 1.1 YM RA 0.4 YM RT 3.1 YM PT 3.5 YM WT 0.9 YM	LC GS 2.500 MM R TP(0.7 5) 0 % R TP(0.0 5) 5 % R TP(-1.0 5) 76 % R TP(-2.0 5) 99 % R TP(-3.0 5) 100 %	<table border="1"> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4%ADK</th> </tr> <tr> <td colspan="4">  </td> </tr> </table>	1	2	3	4%ADK				
1	2	3	4%ADK							
										
R GS 2.500 VER 5.000 YM										

ST_{1/3}

perthometer S8P 6.22

12.04/11.02.24/11.11.09

		TEDOM S.R.O. DIVIZE MOTORY JABLONEC NAD NISOU BELGICKA 400	OBJEKT: NR.: NAME:
LT 17.50 MM LM 12.50 MM UB 625.0 YM		KMS J07-ORJ PERTHEN S8P	MESS.-NR.: 6 T7 RFHTB-250 250 20



LC	GS	2.500 MM	LC	GS	2.500 MM	1	2	3	4%ADK
>RMAX		4.7 YM	R TP(	0.6 5)	0 %				
RZ		2.9 YM	R TP(	0.0 5)	5 %				
RP		0.9 YM	R TP(	-1.0 5)	92 %				
RA		0.3 YM	R TP(	-2.0 5)	99 %				
RT		4.8 YM	R TP(	-3.0 5)	100 %				
PT		5.5 YM	R TP(	-4.0 5)	100 %				
WT		0.8 YM	R TP(	-5.0 5)	100 %				


R GS 2.500 UER 5.000 YM

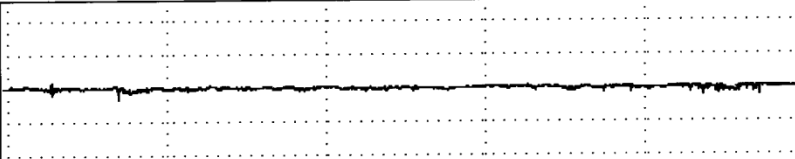
Příloha X – Drsnost „klasického“ výfukového ventilu (TRW C 028) [22]

č. 5₁₁

perthometer S8P 6.22

1284/1A 224/11/109

		TEDOM S.R.O. DIVIZE MOTORY JABLONEC NAD NISOU BELGICKA 400		OBJEKT: NR.: NAME:	
LT	17.50 MM	KMS J07-ORJ		MESS.-NR.: 1	
LM	12.50 MM	PERTHEN S8P		T7 RFHTB-250 250 20	
UB	625.0 YM				

					
R LC GS 2.500 MM UER 5.000 YM HOR 2.500 MM					


LC GS 2.500 MM	LC GS 2.500 MM	1 2 3 4%ADK
>RMAX 2.5 YM	R TP(0.6 5) 0 %	
RZ 1.4 YM	R TP(0.0 5) 5 %	
RP 0.5 YM	R TP(-1.0 5)100 %	
RA 0.2 YM	R TP(-2.0 5)100 %	
RT 2.5 YM		
PT 3.2 YM		
WT 1.3 YM		

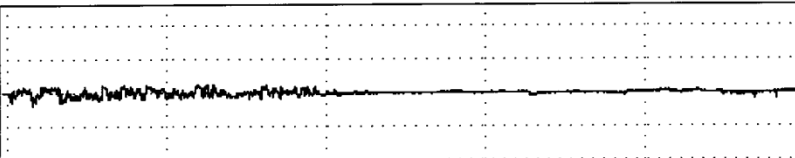
R GS 2.500 UER 5.000 YM	
-------------------------	--

č. 5₁₂

perthometer S8P 6.22

1284/1A 224/11/109

		TEDOM S.R.O. DIVIZE MOTORY JABLONEC NAD NISOU BELGICKA 400		OBJEKT: NR.: NAME:	
LT	17.50 MM	KMS J07-ORJ		MESS.-NR.: 2	
LM	12.50 MM	PERTHEN S8P		T7 RFHTB-250 250 20	
UB	625.0 YM				

					
R LC GS 2.500 MM UER 5.000 YM HOR 2.500 MM					


LC GS 2.500 MM	LC GS 2.500 MM	1 2 3 4%ADK
>RMAX 3.1 YM	R TP(0.6 5) 0 %	
RZ 1.9 YM	R TP(0.0 5) 5 %	
RP 0.7 YM	R TP(-1.0 5) 86 %	
RA 0.2 YM	R TP(-2.0 5)100 %	
RT 3.3 YM	R TP(-3.0 5)100 %	
PT 3.8 YM		
WT 2.1 YM		

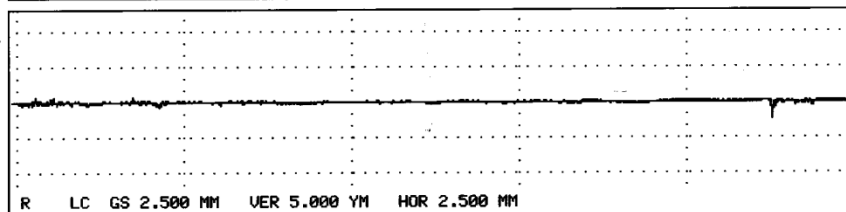
R GS 2.500 UER 5.000 YM	
-------------------------	--

č. 5/3

perthometer S8P 6.22

1287/10224/11/1/09

	TEDOM S.R.O. DIVIZE MOTORY JABLONEC NAD NISOU BELGICKA 400		OBJEKT:
	LT 17.50 MM LM 12.50 MM UB 625.0 YM	KMS J07-ORJ PERTHEN S8P	NR.: NAME:
			MESS.-NR.: 3
			T7 RFHTB-250 250 20



LC	GS	2.500 MM	LC	GS	2.500 MM	1	2	3	4%ADK
>RMAX		2.6 YM	R TP(	0.6 5)	0 %				
RZ		1.1 YM	R TP(	0.0 5)	5 %				
RP		0.3 YM	R TP(	-1.0 5)	100 %				
RA		0.1 YM	R TP(	-2.0 5)	100 %				
RT		3.0 YM	R TP(	-3.0 5)	100 %				
PT		3.1 YM							
WT		1.4 YM							
						R GS 2.500 VER 5.000 YM			